



**Università
di Genova**

IL DESIGN NAUTICO VERSO IL FUTURO

*L'uso strategico dell'intelligenza artificiale a supporto del designer nella
progettazione e nella sicurezza operativa*

Candidata: **Laura Pagani**

Relatori: Mario Ivan Zignego - Alessandro Bertirotti

XXXVIII Ciclo di Dottorato in Scienze e Tecnologie del Mare

Curriculum: Design Navale e Nautico

INDICE

INTRODUZIONE	6
CONTESTO E MOTIVAZIONE DELLA RICERCA	6
DOMANDE E OBIETTIVI DELLA RICERCA	7
STRUTTURA DELLA TESI	8
CONTRIBUTI ORIGINALI DELLA RICERCA	9
PARTE I - STATO DELL'ARTE E QUADRO TEORICO	10
1. EVOLUZIONE METODOLOGICA DELLA PROGETTAZIONE NAVALE E NAUTICA	10
1.1. <i>Metodi tradizionali di progettazione</i>	10
1.2. <i>Sostenibilità e digitalizzazione del processo progettuale</i>	13
1.3. <i>Metodi numerici, simulazione digitale e AI</i>	14
2. DAL RICONOSCIMENTO DELLE EMOZIONI AL DESIGN EMPATICO	16
2.1. <i>Definizione e natura delle emozioni</i>	17
2.2. <i>Teorie delle emozioni utili al progetto: implicazioni operative</i>	18
2.3. <i>Affective Computing: origine, metodi e rilevanza per il design nautico</i>	20
2.4. <i>Tecniche di riconoscimento delle emozioni</i>	22
2.5. <i>Emotional Adaptive Design: dal rilevamento all'adattamento in tempo reale</i>	24
3. DAL CONCETTO DI HUMAN IN THE LOOP AL DESIGNER IN THE LOOP	27
3.1. <i>Da Human in the Loop a Designer in the Loop</i>	27
3.2. <i>Framework operativo per il Design Nautico</i>	30
3.3. <i>Applicazioni nel settore nautico: configuratori, simulazione e generazione</i>	32
4. AGENTI E MODELLI GENERATIVI NEL DESIGN: XR, LLM E SISTEMI MULTI-AGENTE	34
4.1. <i>Gli agenti intelligenti nel design contemporaneo</i>	34
4.2. <i>Sistemi multi-agenti e design collaborativo</i>	37
4.3. <i>Generative AI e creatività aumentata</i>	39
4.4. <i>Extended reality e la dimensione immersiva del progetto</i>	40
4.5. <i>Empathic LLM e Design emozionale</i>	41
4.6. <i>Conclusioni</i>	42
4.7. <i>Sviluppi futuri (MCP e formati token-efficient)</i>	43
5. ASPETTI ETICI E NORMATIVI DEL DESIGN ADATTIVO EMOZIONALE	45
5.1. <i>Implicazioni etiche dell'AI nel design basato sulle emozioni</i>	45
5.2. <i>Quadro normativo europeo sull'AI Act</i>	45
5.2.1. <i>Norme per la ricerca sperimentale ed accademica</i>	47
5.3. <i>La sperimentazione di questa tesi</i>	48
5.4. <i>Conclusioni e implicazioni sociali</i>	51
PARTE II – SPERIMENTAZIONI E STRUMENTI SVILUPPATI	52
6. SPERIMENTAZIONI PROGETTUALI E STRUMENTI SVILUPPATI DURANTE LA RICERCA	52
6.1. <i>Ruolo e obiettivi del capitolo</i>	52
6.2. <i>Impostazione metodologica delle sperimentazioni</i>	53
BLOCCO A – STRUMENTI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI USER REQUIREMENTS	55
6.3. <i>Gli User Requirements</i>	56
6.4. <i>Strumenti per l'individuazione degli user requirements</i>	60
6.4.1. <i>Interview with a Chatbot</i>	60
6.4.2. <i>Conversational AI Agent</i>	63
6.4.3. <i>Yacht Design Generator with AI</i>	65
6.4.4. <i>Interview App</i>	67
6.4.5. <i>Confronto ed evoluzione degli strumenti</i>	71
BLOCCO B – DAGLI USER REQUIREMENTS AL CONCEPT DESIGN	74
6.5. <i>Dal requisito alla generazione del concept</i>	74
6.5.1. <i>Analisi dei competitor come strumento di orientamento progettuale</i>	74
6.5.2. <i>First Concept Generator</i>	75

6.5.3.	<i>Limiti e criticità della generazione assistita</i>	78
BLOCCO C – SISTEMI INTEGRATI E APPLICAZIONI IN CONTESTI REALI		79
6.6.	<i>Ecosistema multi-agente per il supporto al concept design</i>	79
6.6.1.	<i>Dalla frammentazione degli strumenti a un sistema integrato</i>	79
6.6.2.	<i>Architettura concettuale dell'ecosistema multi-agente</i>	81
6.6.3.	<i>Tipologie di agenti e collocazione nel processo progettuale</i>	82
6.6.4.	<i>Agente di estrazione e sintesi dei requisiti</i>	83
6.6.5.	<i>Agente per l'analisi dei competitor e del contesto di mercato</i>	83
6.6.6.	<i>Agente per la generazione preliminare del concept</i>	84
6.6.7.	<i>Agente di simulazione immersiva e validazione esperienziale</i>	85
6.6.8.	<i>Agente di ottimizzazione tecnica basato su Machine Learning</i>	85
6.6.9.	<i>Il ruolo del designer e l'orchestrazione del Sistema</i>	88
6.6.10.	<i>Il fascicolo progettuale come output trasversale</i>	89
BLOCCO D – APPLICAZIONI IN CONTESTI REALI E SAFETY-CRITICAL		91
6.7.	<i>Inquadramento normativo e implicazioni metodologiche</i>	91
6.8.	<i>Sperimentazioni in contesti formativi e professionali</i>	92
6.8.1.	<i>Accademia della Marina Mercantile</i>	94
6.8.1.1.	<i>Esperimento 1: In aula al Simulatore ECDIS</i>	94
6.8.1.2.	<i>Esperimento 2: Nel simulatore di plancia di comando</i>	96
6.8.1.3.	<i>Esperimento 3: Interviste agli aspiranti allievi ufficiali</i>	98
6.8.2.	<i>Sperimentazione presso il Campus di Design Navale di La Spezia</i>	100
6.8.3.	<i>Collaborazione con DRASS</i>	103
6.9.	<i>Caso di sintesi: il progetto On Watch</i>	105
6.9.1.	<i>Contesto sperimentale</i>	107
6.9.2.	<i>Fase preliminare e resistenze culturali</i>	107
6.9.3.	<i>Architettura e funzionamento del sistema</i>	108
6.9.4.	<i>Valore metodologico e prospettive</i>	109
BLOCCO E – SINTESI E VALIDAZIONE		110
6.10.	<i>Sintesi delle sperimentazioni e validazione del paradigma Designer in the Loop</i>	110
6.11.	<i>Conclusioni e prospettive di sviluppo</i>	111
PARTE III – DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI		112
7.	DISCUSSIONE CRITICA DEI RISULTATI	112
7.1.	<i>Limiti tecnologici dell'Emotion AI</i>	112
7.2.	<i>Criticità metodologiche e operative</i>	113
7.3.	<i>Contributi scientifici e originalità della ricerca</i>	114
7.4.	<i>Prospettive di sviluppo e conclusioni</i>	114
APPENDICI		116
APPENDICE A. METODI PER IL RICONOSCIMENTO DELLE EMOZIONI		116
A.1.	ANALISI FACCIALE: IL FACIAL ACTION CODING SYSTEM (FACS)	116
A.2.	ANALISI VOCALE: SPEECH EMOTION RECOGNITION (SER)	116
A.3.	PARAMETRI ACUSTICI STANDARDIZZATI: GEMAPS	117
A.4.	SINTESI CONCLUSIVA	117
APPENDICE B. STRUMENTI E PIPELINE DEL SISTEMA MULTIMODALE		118
B.1.	STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA	118
B.2.	COMPONENTI PRINCIPALI	118
B.3.	PIPELINE OPERATIVA	120
B.4.	PRINCIPI ETICI E CONFORMITÀ NORMATIVA	121
B.5.	SINTESI CONCLUSIVA	121
APPENDICE C. STRUMENTI, LIBRERIE E DATASET UTILIZZATI		122
C.1.	STRUMENTI E PIATTAFORME DI SVILUPPO	122
C.2.	DATASET E RISORSE DI ADDESTRAMENTO	123
C.3.	SICUREZZA, ANONIMIZZAZIONE E GOVERNANCE DEI DATI	123
C.4.	SINTESI CONCLUSIVA	124
APPENDICE D. GLOSSARIO TECNICO		125

<i>Breath Rate Variability (BRV)</i>	125
<i>ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)</i>	126
<i>Privacy by Design</i>	128
APPENDICE E. QUESTIONARIO DI SELF ASSESSMENT UTILIZZATO NEGLI ESPERIMENTI	129
APPENDICE F. PAPER E ARTICOLI PUBBLICATI	132
ALBA DEL SUPERUMANO, ARMONIA E TECNOLOGIA NEL DESIGN NAUTICO DEL PROSSIMO FUTURO	132
A MODULAR APPROACH TO EMOTIONAL STATE ANALYSIS IN MINIMAL SPACES UTILIZING MULTIMODAL SYSTEMS	133
FEEL THE SPACE: PIONEERING EMOTIONAL INTELLIGENCE IN ARCHITECTURE	134
AI-POWERED EMOTION RECOGNITION FOR MARITIME SAFETY ENHANCEMENT	135
LEISURE REIMAGINED: TECHNOLOGY AND AI-DRIVEN PERSONALISATION FOR ENHANCED WELLBEING	137
NEURODESIGN: A GAME-CHANGER IN EDUCATIONAL CONTEXTS	138
TECHNOLOGY AND NEUROARCHITECTURE	139
NAVIGATING EMOTIONS: A MULTIMODAL APPROACH TO REDEFINING NAUTICAL NAVAL DESIGN	140
QUANTIFYING HUMAN FACTOR IN SHIPS OPERATION VIA AN AI BASED EMOTIONS RECOGNITION.	141
ENHANCING NAUTICAL DESIGN THROUGH EMOTION DETECTION: A MACHINE LEARNING APPROACH	142
ENHANCING SAILING YACHT DESIGN THROUGH MACHINE LEARNING: APPLICATION OF GAUSSIAN PROCESS REGRESSION TO PREDICT BARE HULL RESISTANCE	144
LEVERAGING AI AND DEEP LEARNING ALGORITHMS TO ENHANCE LEISURE SAILING EXPERIENCES	145
ENHANCING LEISURE SAILING EXPERIENCE THROUGH TECHNOLOGY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE	146
PREDICTING RESISTANCE OF A SAILING YACHT BARE HULL USING A MACHINE LEARNING GAUSSIAN PROCESS REGRESSION MODEL	147
INTELLIGENT SHIP DESIGN: INTEGRATING AI INTO MODERN NAVAL ARCHITECTURE	148
HUMAN-CENTRED AI INTEGRATION IN NAVAL ARCHITECTURE: ENHANCING DESIGN PROCESSES THROUGH EMOTION RECOGNITION AND INTELLIGENT SYSTEMS	149
AI AGENTS AS KNOWLEDGE NAVIGATORS: A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR MULTI-AGENT	151
SYSTEMS IN SCIENTIFIC KNOWLEDGE MANAGEMENT	151
DESIGNER IN THE LOOP: L'EVOLUZIONE DEL DESIGN NAUTICO NELL'ERA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	153
SMART CLASSROOMS OF THE FUTURE: AI-DRIVEN SUPPORT FOR TEACHERS AND STUDENTS	154
THE INTEGRATION OF AI TECHNOLOGIES IN YACHT DESIGN PROCESS: ENHANCING TRADITIONAL METHODOLOGIES FROM REQUIREMENTS TO OPERATIONS	155
EMOTIONAL INTELLIGENCE IN AI EDUCATIONAL AGENTS: A FRAMEWORK FOR PERSONALIZED LEARNING EXPERIENCES	156

Alla mia Famiglia

INTRODUZIONE

Contesto e Motivazione della Ricerca

Negli ultimi anni il design navale e nautico sta attraversando una trasformazione strutturale, determinata dalla convergenza tra digitalizzazione dei processi, crescente complessità dei sistemi di bordo e disponibilità di tecniche di intelligenza artificiale (AI) capaci di supportare analisi, simulazioni e generazione di alternative progettuali. In questo quadro, la progettazione non riguarda più soltanto la definizione formale e tecnico-funzionale dell'imbarcazione, ma si estende alla costruzione dell'esperienza d'uso, alla gestione dell'informazione e all'interazione uomo-macchina lungo l'intero ciclo di vita del prodotto.

Di conseguenza, il ruolo del designer si amplia: dall'ideazione di spazi e prodotti alla responsabilità di interpretare bisogni, comportamenti e reazioni di utenti e operatori.

In tale prospettiva, assumono particolare rilevanza gli aspetti cognitivi ed emotivi che influenzano processi decisionali, livelli di attenzione, carico mentale e performance, soprattutto in ambito marittimo. Qui, condizioni operative complesse e talvolta critiche fanno sì che fattori quali fatica, stress e sovraccarico informativo possano contribuire in modo significativo al verificarsi di errori e incidenti. La comprensione dello stato psicofisiologico degli operatori emerge pertanto come una questione progettuale a pieno titolo, e non esclusivamente come un tema ergonomico o formativo.

L'assunto di partenza della ricerca è che le tecniche di *Affective Computing* e l'analisi multimodale possano offrire al designer strumenti per osservare e interpretare, in modo non invasivo e con adeguate garanzie etiche e normative, indicatori legati a stress, carico cognitivo e stati emotivi.

All'interno di questa tesi, tali tecnologie non vengono intese come meccanismi di controllo o sorveglianza, bensì come componenti di un approccio progettuale orientato alla sicurezza operativa.

L'informazione sullo stato dell'utente o dell'operatore viene utilizzata per supportare il miglioramento di interfacce, procedure, supporti decisionali e contromisure progettuali, mantenendo la decisione finale in capo all'essere umano.

La ricerca si colloca nel solco avviato con il lavoro "*A Smart Mockup for a Small Habitat*" [140], che ha esplorato l'impiego di sensori e dati biometrici per raccogliere evidenze sulle reazioni degli utenti rispetto a un prototipo abitativo.

Su questa base, il percorso di dottorato ha progressivamente ampliato il campo d'indagine: dalla valutazione dell'esperienza del passeggero e degli spazi di bordo verso una prospettiva centrata sulla

safety on board, con particolare attenzione alle attività di conduzione, alle condizioni di emergenza e agli scenari ad alta criticità operativa.

Nel corso del dottorato sono state condotte sperimentazioni in collaborazione con enti accademici e industriali, impiegando metodiche multimodali, tra cui analisi facciale, analisi vocale, rilevazione di segnali fisiologici e strumenti di autovalutazione, in scenari di laboratorio e in ambienti simulati. Le attività hanno incluso test formativi e simulazioni operative (ad esempio su compiti ECDIS e su simulatore di plancia), nonché campagne sperimentali in contesti universitari e industriali. Le evidenze raccolte hanno contribuito alla definizione di un protocollo di raccolta e interpretazione dei dati orientato a:

- minimizzazione e chiarezza della finalità d'uso;
- riproducibilità del metodo;
- integrazione dei risultati nel processo progettuale.

L'evoluzione del quadro normativo europeo sull'intelligenza artificiale (Reg. (UE) 2024/1689, "AI Act"), caratterizzato da un'applicazione progressiva, ha reso necessario esplicitare con particolare rigore il perimetro d'uso delle tecnologie impiegate, le misure di governance, i requisiti di trasparenza e le modalità di controllo umano, soprattutto in presenza di dati biometrici o inferenze su stati emotivi.

Le sperimentazioni che prevedono la raccolta di tali dati sono state pertanto condotte nel rispetto del GDPR e accompagnate da procedure di valutazione etica e consenso informato, documentando criteri di minimizzazione, limitazione delle finalità, accesso ai dati e misure volte a ridurre il rischio di bias e di interpretazioni improprie.

Le evidenze raccolte confluiscono infine in un caso di sintesi (*On Watch*), presentato nel Capitolo 6, che mette alla prova l'approccio proposto in uno scenario orientato alla sicurezza operativa.

Tale caso rappresenta al contempo una validazione del framework sviluppato e una base per sviluppi futuri, inclusi quelli condotti nell'ambito del gruppo DIANA (*Design e Intelligenza Artificiale per la Nautica e l'Architettura*).

Domande e obiettivi della ricerca

A partire da questo contesto, la tesi indaga come l'intelligenza artificiale possa supportare il designer nella progettazione nautica, mantenendo il designer al centro dei processi decisionali e valorizzandone competenze, responsabilità e capacità interpretativa. In particolare, la ricerca si concentra su come l'AI possa contribuire a migliorare sicurezza, affidabilità umana ed efficacia progettuale in contesti operativi complessi.

Più precisamente le domande di ricerca sono le seguenti:

1. In che modo l'intelligenza artificiale può supportare il designer nel processo di progettazione nautica, senza sostituirne il ruolo decisionale e creativo?¹
2. Quali segnali emotivi e parametri psicofisiologici possono essere integrati in modo efficace e responsabile nei processi decisionali del design nautico e nelle attività *safety-critical*?²
3. Come progettare un ecosistema di sistemi di intelligenza artificiale e agenti digitali che affianchi il designer lungo il processo progettuale, supportandone le decisioni e contribuendo a incrementare la *safety* e l'affidabilità umana a bordo?³

In coerenza con tali domande, gli obiettivi specifici della ricerca sono:

- analizzare lo stato dell'arte sull'integrazione dell'intelligenza artificiale nei processi di design, con particolare attenzione ai contesti navali e nautici e ad ambiti affini caratterizzati da elevata complessità operativa;
- sviluppare e testare applicazioni sperimentali per la raccolta e l'analisi di indicatori emotivi e psicofisiologici in contesti di progettazione e di sicurezza;
- validare un approccio multimodale basato sull'integrazione di dati facciali, vocali e fisiologici, in collaborazione con partner accademici e industriali;
- proporre un prototipo o un'interfaccia di supporto alla sicurezza orientata all'utente, concepita come strumento progettuale trasferibile a diversi contesti operativi, incluso l'ambiente subacqueo.

Struttura della tesi

La tesi è articolata in tre parti:

- Parte I – costruisce il quadro teorico e concettuale della ricerca, affrontando l'evoluzione del design nautico verso approcci human-centred e data-informed, i principi dell'Affective Computing e il paradigma del Designer in the Loop.
- Parte II – presenta l'implementazione e le sperimentazioni condotte, descrivendo strumenti, protocolli e casi di applicazione sviluppati nel corso della ricerca.
- Parte III – discute i risultati ottenuti, le criticità emerse e le prospettive future, includendo le implicazioni etiche e metodologiche dell'approccio proposto.

¹ Viene affrontata nei Capitoli 2–4 (quadro teorico e metodologico sull'IA nel design e sul ruolo del designer) e discussa attraverso applicazioni e casi nel Capitolo 6

² Viene inquadrata nel Capitolo 5 (aspetti etici e normativi, perimetro d'uso e gestione del rischio) e supportata dalle sperimentazioni presentate nel Capitolo 6, con particolare riferimento ai protocolli multimodali e alle modalità di interpretazione dei segnali.)

³ Viene formalizzata nel Capitolo 3 mediante il paradigma Designer in the Loop e sintetizzata nel Capitolo 6 (linee guida e caso di sintesi), con discussione critica, limiti e prospettive nel Capitolo 7

Contributi originali della ricerca

La tesi non propone un sistema di automazione del progetto, ma un framework critico per l'integrazione responsabile dell'AI nei processi di design nautico orientato a un duplice obiettivo: amplificare la capacità del progettista di esplorare alternative e prendere decisioni informate, e contribuire alla sicurezza degli operatori in mare, in contesti in cui attenzione, fatica, stress e carico cognitivo possono diventare variabili critiche.

Muovendo tra cornice teorica e sperimentazione applicata, il lavoro mostra come la lettura di segnali emotivi e psicofisiologici, raccolti e interpretati con adeguate garanzie metodologiche ed etiche, possa tradursi in indicazioni progettuali. Tali indicazioni alimentano sistemi più sensibili al contesto operativo, più affidabili nelle interazioni e maggiormente centrati sull'uomo.

In questa traiettoria si collocano la nascita del gruppo DIANA e il caso di sintesi On Watch, intesi come un ponte tra ricerca e trasferimento.

In questo spazio, l'innovazione non coincide con l'automazione del giudizio, ma con la costruzione di strumenti capaci di affiancare il designer senza sostituirlo.

Tecnologia e umanità non vengono così poste come poli opposti, ma integrate in un'unica architettura di progetto, in cui intuizione e calcolo, empatia e sicurezza sono tenute insieme da principi di trasparenza, controllo umano e responsabilità nell'uso dell'intelligenza artificiale.

1. Evoluzione metodologica della progettazione navale e nautica

Negli ultimi due secoli la progettazione navale e nautica ha attraversato un profondo processo di trasformazione metodologica. Da disciplina prevalentemente empirica, fondata sull'esperienza diretta e su procedure artigianali, il design navale e nautico si è progressivamente evoluto in un sistema strutturato, iterativo e multidisciplinare, sostenuto da modelli ingegneristici e da tecnologie digitali avanzate.

1.1. Metodi tradizionali di progettazione

L'origine di questa evoluzione può essere ricondotta al 1959, quando J. Harvey Evans [134] introdusse la spirale di progettazione, un modello ciclico che interpreta la progettazione navale come un processo di continua sperimentazione basato sul principio del *trial-and-error*. Come illustrato in Figura 1, la spirale di Evans si articola in una sequenza di fasi, dal *concept design* al *detail design*, che consentono di affinare progressivamente la soluzione progettuale. Il suo valore fondamentale risiede nella possibilità di ritornare iterativamente sulle fasi precedenti, integrando nuove informazioni e correggendo eventuali errori, in un percorso di miglioramento continuo.

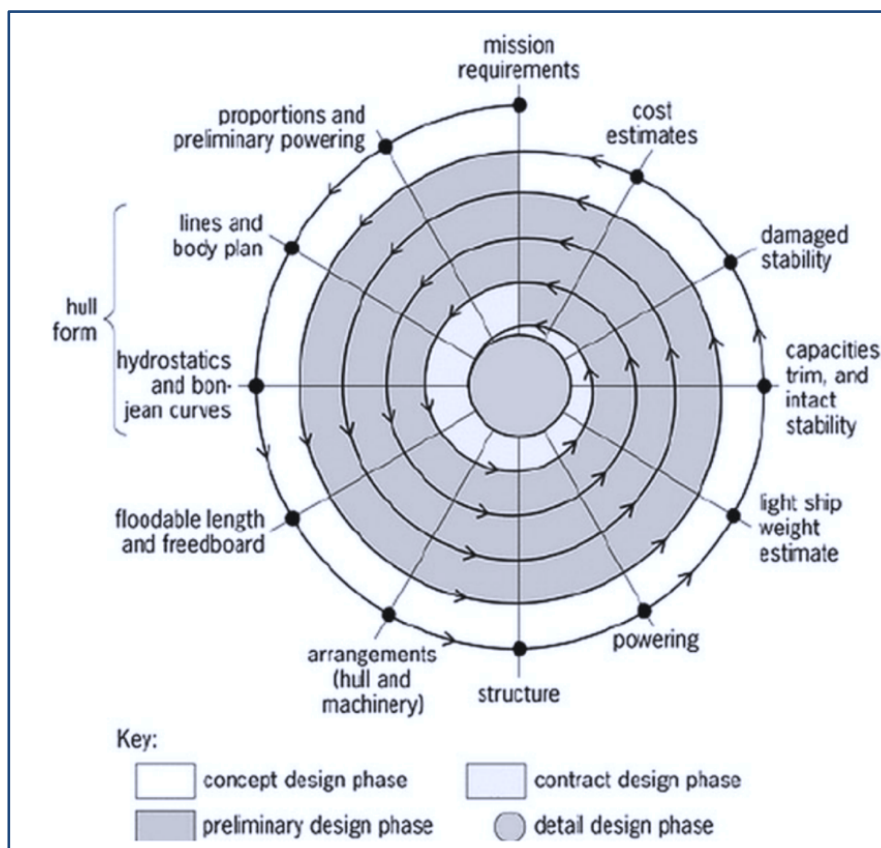


Figura 1: Spirale di Evans introdotta nel 1959

Negli anni successivi, Larsson ed Eliasson [78] hanno adattato la spirale di Evans al contesto della progettazione di yacht, articolandola in undici fasi che coprono l'intero ciclo di sviluppo: dall'analisi delle specifiche iniziali alla validazione finale (Figura 2). Questa versione, più articolata e flessibile, si è rivelata particolarmente utile per gestire la complessità geometrica e funzionale attraverso una scomposizione più fine delle fasi e dei momenti di verifica.

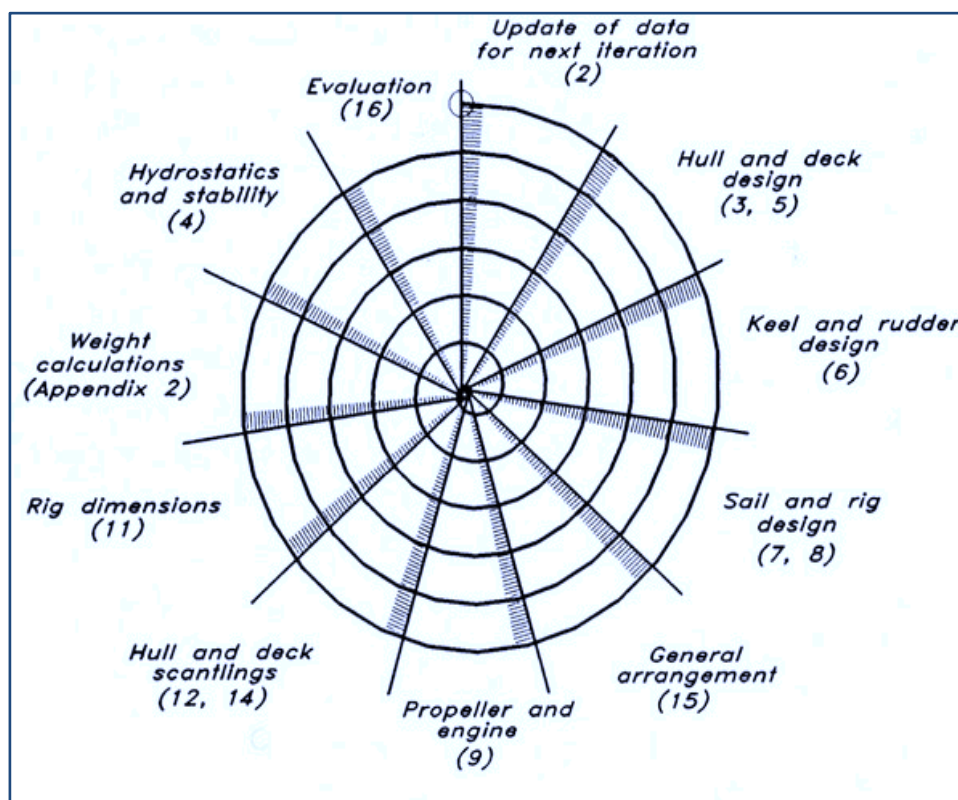


Figura 2: La spirale del design nautico di Larsson (immagine presa dal libro originale di Larsson)

Con l'aumento della multidisciplinarietà dei sistemi navali contemporanei, tuttavia, la spirale ha mostrato alcuni limiti, soprattutto nella gestione sistematica dei requisiti e delle interdipendenze tra sottosistemi (es. struttura–impianti–propulsione–interfacce).

Per rispondere a tali esigenze, è stato diffuso a partire dagli anni '80, il V-Model (Figura 3) [23] [106], mutuato dall'ingegneria del software e adattato poi al design navale.

Il modello descrive il processo come un ciclo strutturato su due rampe complementari: la fase discendente, dedicata alla definizione dei requisiti e alla scomposizione del sistema in componenti, e la fase ascendente, centrata sulla verifica e validazione rispetto ai requisiti.

La natura simmetrica del V-Model assicura tracciabilità e controllo lungo l'intero ciclo progettuale, garantendo che ogni requisito individuato nelle fasi iniziali trovi riscontro in una corrispondente fase di test, particolarmente rilevante in ambito nautico, dove l'integrazione tra sottosistemi incide su prestazioni, sicurezza e certificazione. Tale impostazione distingue

chiaramente tra *verification* (“abbiamo costruito il sistema correttamente”) e *validation* (“abbiamo costruito il sistema giusto”), promuovendo una progettazione coerente, trasparente e controllata.

Nel corso degli anni nella pratica industriale si è adottato un approccio ibrido, che integra la flessibilità iterativa della spirale con il rigore metodologico del *V-Model*, arricchendoli entrambi mediante strumenti digitali evoluti.

In questo approccio, il progettista alterna le fasi di esplorazione creativa (tipiche della spirale) a fasi di verifica sistematica (tipiche del *V-Model*), sfruttando simulazioni numeriche, tecniche di ottimizzazione e analisi dei dati per ridurre il divario tra creatività e rigore tecnico.

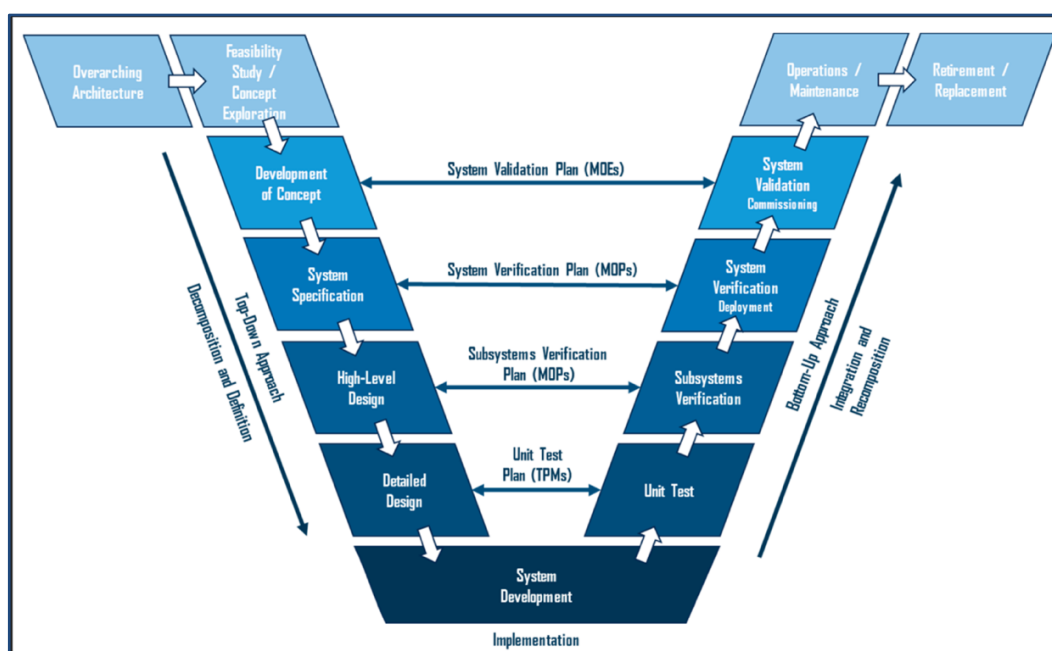


Figura 3: Il V-Model nel design navale [23]

La Tabella 1 sintetizza le principali differenze tra i tre modelli, evidenziando l’evoluzione verso un approccio integrato e digitalmente supportato.

Tabella 1: Confronto tra Spirale di Evans, V-Model e Approccio Ibrido nel design navale

CARATTERISTICA	SPIRALE DI EVANS (1959)	V-MODEL (ANNI '80-'90)	APPROCCIO IBRIDO (CONTEMPORANEO)
STRUTTURA	Iterativa e ciclica	Gerarchica, discendente (specifiche) → ascendente (validazione)	Combina iterazione della spirale e rigore del V-Model
PUNTI DI FORZA	Flessibilità, riduzione del rischio “ <i>trial-and-error</i> ”	Tracciabilità delle scelte, validazione sistematica	Flessibilità e rigore, possibile integrazione dati e simulazioni, supporto digitale (AI, DT, XR)

LIMITI	Limitata gestione multidisciplinare e tracciabilità	Eccessiva rigidità	Complessità implementativa
TECNOLOGIE DI SUPPORTO	CAD e calcoli analitici	Simulazioni digitali	AI, Digital Twin, XR, ottimizzazione generativa
RUOLO DELL'AI	Limitato	Analitico-predittivo	Integrato nel ciclo di design (<i>Designer in the Loop [107]</i>)

Questa evoluzione metodologica riflette la necessità di coniugare rigore ingegneristico e creatività progettuale, aprendo la strada a un nuovo paradigma operativo che verrà formalizzato nei capitoli successivi (HITL/DITL).

1.2. *Sostenibilità e digitalizzazione del processo progettuale*

Negli ultimi due decenni la sostenibilità è divenuta un principio cardine della progettazione navale e nautica, ridefinendo requisiti di progetto, metriche di prestazione e criteri di innovazione. Se in passato il progresso era guidato principalmente da prestazioni tecniche e idrodinamiche, oggi i progettisti devono rispondere a obiettivi ambientali sempre più stringenti, determinati da normative internazionali e da una crescente consapevolezza etica e sociale. Nel 2023 (MEPC 80) l'IMO ha adottato la *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*, fissando l'obiettivo di raggiungere emissioni nette pari a zero per il trasporto marittimo internazionale *by or around 2050*⁴.

La sostenibilità, da vincolo progettuale, si è così trasformata in una leva strategica e culturale, capace di integrare eccellenza tecnica, benessere dell'utente e tutela dell'ambiente marino. Cantieri come *Sanlorenzo*⁵, *Fincantieri* e *Benetti* rappresentano esempi concreti di questa transizione, adottando tecnologie e materiali innovativi che rendono la sostenibilità un autentico vantaggio competitivo e un tratto distintivo del *luxury design*.

Parallelamente, l'adozione di metodologie di *Life Cycle Assessment (LCA)* e strategie di economia circolare si è evoluta grazie all'integrazione con sistemi *IoT (Internet of Things)* e *Digital Twin (DT)*, che consentono di monitorare in tempo reale i parametri operativi, ridurre sprechi energetici e attuare strategie di manutenzione predittiva.

⁴ https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx?utm_source=chatgpt.com

⁵ <https://www.sanlorenzoyacht.com/it/superyacht/50steel.asp>

In questo contesto, la digitalizzazione è divenuta uno dei principali catalizzatori dell'innovazione, permettendo di simulare, verificare e ottimizzare ogni fase del processo progettuale con riduzione di tempi, costi e margini d'errore.

1.3. Metodi numerici, simulazione digitale e AI

Tra gli strumenti più consolidati della progettazione sostenibile e *data-driven*, le simulazioni numeriche, in particolare la *Computational Fluid Dynamics (CFD)* e la *Finite Element Method (FEM)*, rappresentano il cuore della progettazione digitale [21] [22].

La CFD consente di analizzare il comportamento idrodinamico dello scafo in diverse condizioni operative, valutando resistenza, cavitazione, efficienza propulsiva e stabilità in regime planante, mentre la FEM permette di studiare la risposta strutturale dell'imbarcazione sotto carico, individuando i punti di massima sollecitazione e ottimizzando la distribuzione dei materiali per garantire resistenza, leggerezza ed efficienza strutturale.

L'integrazione tra CFD e FEM genera un flusso continuo di feedback progettuali, in cui ogni variazione geometrica o strutturale può essere immediatamente verificata in termini di impatto sulle prestazioni e sull'efficienza energetica complessiva.

Come evidenziano Gualeni e Bottero [23], un approccio ibrido che combini *systems engineering* e simulazione numerica consente di unire rigore metodologico e flessibilità creativa, trasformando la modellazione in uno strumento di esplorazione progettuale e di ottimizzazione ambientale.

Questo paradigma è oggi ulteriormente potenziato dall'AI, che estende la progettazione digitale dalle simulazioni alle fasi di ideazione, generazione e valutazione del concept.

Le principali aree di applicazione includono:

- *Machine Learning e Deep Learning*, per la predizione di resistenza, stabilità, consumi energetici e comfort a bordo;
- *Generative Design*, che utilizza algoritmi evolutivi e tecniche di *topology optimization* per esplorare soluzioni alternative in base a vincoli multipli;
- Ottimizzazione multi-obiettivo, per bilanciare parametri spesso in conflitto come velocità, efficienza, costo e impatto ambientale;
- Visione artificiale e *Natural Language Processing (NLP)*, applicati rispettivamente al controllo di qualità costruttiva e alla classificazione automatica della documentazione tecnica.

Come mostrato nei paper di Gemelli, Pagani e Zignego presentati ai convegni SORTA 2024 e NAV 2024 [59], l'impiego di modelli di *Gaussian Process Regression (GPR)* consente di ottimizzare

le analisi idrodinamiche, fornendo predizioni accurate della resistenza dello scafo basate sui dati della *Delft Systematic Yacht Hull Series*.

La convergenza tra CFD, FEM e AI segna il passaggio da un approccio prevalentemente empirico a un paradigma predittivo e adattivo, in cui i dati di simulazione alimentano modelli capaci di apprendere e proporre configurazioni ottimizzate.

In parallelo, si affermano i *Digital Twin (DT)*, repliche digitali aggiornate tramite sensori IoT, che permettono di monitorare consumi, vibrazioni e sollecitazioni strutturali, supportando manutenzione predittiva e strategie di riduzione dell'impatto ambientale.

Accanto ai DT, emergono i *Virtual Prototypes (VP)*, che consentono di valutare aspetti ergonomici, estetici e funzionali sin dalle fasi preliminari del progetto [43][68].

La progettazione contemporanea assume così la forma di un dialogo continuo tra uomo e macchina, in cui l'AI fornisce analisi e suggerimenti, mentre il designer mantiene la supervisione e responsabilità delle decisioni estetiche, funzionali e di sicurezza. Tale approccio, riconducibile al paradigma *Human in the Loop (HITL)*, è qui declinato come *Designer in the Loop (DITL)*, in cui il progettista è al centro del processo decisionale, affiancato da sistemi intelligenti che ne amplificano le capacità analitiche e creative.

Come evidenziano nel paper sull'*AI-driven leisure design* [102] [103], l'intelligenza artificiale può estendere la propria applicazione anche alla dimensione percettiva ed emotiva del progetto. In questi approcci, i sistemi intelligenti analizzano emozioni e preferenze dell'utente per adattare in tempo reale l'ambiente di bordo, modulando luce, suono, colore o disposizione degli spazi e offrendo un'esperienza personalizzata e multisensoriale. Questo orientamento verso un design empatico e adattivo segna una svolta culturale oltre che tecnologica: la progettazione si orienta verso una nuova alleanza tra razionalità ingegneristica e sensibilità umana.

L'obiettivo non è più soltanto ottimizzare le prestazioni tecniche, ma progettare imbarcazioni capaci di comprendere e rispondere ai bisogni dell'uomo, interpretandone segnali e preferenze.

In questa prospettiva, sostenibilità, digitalizzazione e intelligenza artificiale convergono in un unico paradigma integrato, in cui le scelte progettuali sono guidate non solo da criteri tecnici, ma anche da modelli predittivi, esperienziali (XP/VP) ed etici.

2. Dal riconoscimento delle emozioni al design empatico

Dopo aver esaminato le trasformazioni metodologiche e digitali che hanno ridefinito il design navale e nautico negli ultimi decenni, questo capitolo introduce un quadro teorico-operativo per considerare le emozioni come variabili di progetto e criteri di valutazione dell’esperienza a bordo. Nel contesto attuale, la progettazione navale integra alle prestazioni tecnico-funzionali anche dimensioni percettive, psicologiche ed emotive (orientamento, comfort percepito, fiducia nei sistemi), soprattutto nel diporto, dove gli spazi di bordo sono ambienti vissuti e devono sostenere controllo percepito e riduzione dell’ansia in condizioni variabili.

Le barche contemporanee, in particolare quelle destinate al diporto, stanno diventando sempre più spazi vissuti, ambienti che devono garantire non solo armonia e piacere estetico, ma anche percezione di controllo e riduzione dell’ansia in condizioni variabili.

Se nel capitolo precedente è stato descritto il passaggio dai paradigmi tradizionali ai modelli *AI-driven*, in questo capitolo si affronta il passo successivo: l’integrazione del fattore umano e affettivo nel processo di design.

Le emozioni, tradizionalmente dominio della filosofia e della psicologia, diventano oggi parametri progettuali concreti, grazie allo sviluppo dell’*Affective Computing* [112], disciplina che consente di riconoscere, interpretare e misurare gli stati affettivi attraverso tecnologie multimodali.

Questa prospettiva consente di ripensare in modo sostanziale l’architettura navale.

La barca non è più un semplice prodotto tecnico, ma può essere concepita, in senso progettuale, come un sistema adattivo che reagisce alle percezioni e ai bisogni del suo utente.

Come mostra la Tabella 2, il settore nautico presenta tuttavia un ritardo significativo nell’adozione di queste tecnologie rispetto ad altri comparti industriali, in particolare l’*automotive*, l’aeronautica e l’architettura, che hanno già integrato sistemi di AI empatica, *digital twin* e design generativo.

Questa asimmetria tecnologica non è solo un indicatore di arretratezza, ma un’opportunità concreta per ridefinire i processi progettuali nautici, rendendoli più orientati alla persona, più esperienziali e scientificamente fondati [32].

Tabella 2: Confronto dello stato di adozione delle tecnologie AI e digitali nel design nautico

TECNOLOGIA / APPROCCIO	STATO IN ALTRI SETTORI (AUTOMOTIVE, ARCHITETTURA, AVIAZIONE)	APPLICAZIONE ATTUALE NEL SETTORE NAUTICO	GAP INDIVIDUATO
CFD / FEM AVANZATI	Utilizzo standardizzato per ottimizzazione strutturale e aerodinamica	Usati, ma spesso limitati a fasi finali di validazione	Necessità di integrazione più precoce e continua nel ciclo progettuale

DIGITAL TWIN	Diffusi per manutenzione predittiva e ottimizzazione operativa	In fase sperimentale su pochi prototipi yacht e navi	Mancanza di implementazione sistematica e standard condivisi
VIRTUAL PROTOTYPE (VR/AR)	Strumento consolidato per co-design con clienti e <i>stakeholder</i>	Usati in modo dimostrativo, raramente integrati nel <i>workflow</i>	Necessità di validazione scientifica sull'efficacia in contesti nautici
GENERATIVE DESIGN	Ampiamente usato in automotive e aeronautica per strutture leggere	Applicazioni molto limitate a layout di interni	Gap su scafo, appendici, ottimizzazione multi-obiettivo
AFFECTIVE COMPUTING	Implementato in automotive (cockpit intelligenti) ed <i>education</i>	Adozione non sistematica, prevalenza di prototipi di ricerca	Mancanza di studi applicativi sistematici con utenti reali
AI-DRIVEN MULTI-AGENT SYSTEMS	Usati per gestione progetti complessi (es. smart manufacturing)	Poco introdotti nei processi di design nautico	Gap metodologico: orchestrazione agenti per design collaborativo
EMPATHIC LLM E INTERFACCE CONVERSAZIONALI	Prime applicazioni in customer care e health	Adozione ancora non sistematica	Gap su validazione dell'impatto sul rapporto designer-cliente

Questa fotografia del settore evidenzia la necessità di una svolta culturale e metodologica.

Le tecnologie affettive e adattive, oggi in fase sperimentale, rappresentano la chiave per rendere il design navale più umano, adattivo e sicuro.

Integrare la dimensione emotiva nel processo di progettazione non è un elemento accessorio o meramente narrativo, ma un mezzo per comprendere meglio l'utente, anticiparne le reazioni e creare un'esperienza coerente con i suoi bisogni impliciti.

Da questo punto di partenza prende avvio il percorso del capitolo, che esplora prima le basi teoriche delle emozioni e poi il loro ruolo come variabili progettuali attive nel contesto del design empatico.

2.1. Definizione e natura delle emozioni

Il termine emozione ha una storia lunga e complessa, che attraversa filosofia, psicologia, neuroscienze e oggi anche ingegneria del design, perché una definizione operativa condiziona *cosa* misuriamo e *come* traduciamo i risultati in scelte progettuali.

Già Aristotele, nella Retorica (IV secolo a.C.), descriveva le emozioni come *«sentimenti che modificano gli uomini al punto da influenzarne i giudizi, accompagnandosi a dolore o piacere»*.

Da allora, il concetto di emozione è stato interpretato come un intreccio dinamico tra biologia, cognizione e cultura, un sistema che guida l'essere umano nell'interpretazione del mondo.

Oggi possiamo definirle come esperienze affettive complesse, di breve durata ma intensa, che coinvolgono corpo, mente e comportamento e che possono essere descritte tramite componenti

soggettive, fisiologiche e comportamentali. Le emozioni sono il linguaggio universale dell'esperienza umana: orientano la percezione, influenzano le decisioni e plasmano la memoria. In un contesto progettuale, ciò significa che ogni scelta di forma, luce, suono o materiale può attivare risposte emotive specifiche. Come osservano Maraffa e Viola [87] la ricerca sulle emozioni assomiglia a una cartografia dell'oceano:

«Il dominio delle emozioni è come un oceano sconfinato: chi si imbarchi per visitare tutte le terre che lo popolano avrà bisogno di strumenti per non perdere la rotta. Molti scienziati hanno provato a tracciare delle carte nautiche per fornire un orientamento, ma l'aspirante navigatore sia messa in guardia: non di rado queste mappe sono tra di loro discordanti. In alcuni casi descrivono regioni dell'oceano differenti, contendendosi però la pretesa di esaustività; e spesso non è facile dire chi abbia ragione perché, proprio come non è facile stabilire i confini di un oceano, anche definire cosa si debba intendere per emozione è faccenda, come vedremo, alquanto controversa. In altri casi, le stesse regioni della mappa vengono descritte in modo diverso, per esempio c'è chi sostiene che certi fenomeni emotivi come la paura o il disgusto siano un'eredità biologica innata comune a tutti i primati (e magari anche di altri mammiferi), e chi crede, invece che esse implicino una complessa rete di ragionamenti, al pari di emozioni, squisitamente umane e culturali come la gelosia o l'invidia. Insomma, è un po' come se, dovendo costruire la forma delle terre emerse, osservandolo con un cannocchiale, un cartografo vedesse un arcipelago là dove un altro vede un'unica isola».

Nel design nautico, questa metafora è più che simbolica: il progettista, come un navigatore, deve orientarsi tra variabili tecniche, estetiche e sensoriali per creare ambienti capaci di evocare stati affettivi desiderati.

Uno spazio progettato per trasmettere *fiducia* dovrà essere stabile, ordinato, con materiali solidi e luce controllata; uno spazio che vuole evocare *meraviglia* potrà invece giocare su trasparenze, riflessi d'acqua e viste panoramiche.

Le emozioni non sono quindi semplici reazioni, ma strumenti cognitivi e adattivi.

Progettare per le emozioni significa costruire ambienti che favoriscono stati positivi (calma, fiducia, curiosità) e riducono quelli negativi (ansia, confusione, affaticamento).

2.2. Teorie delle emozioni utili al progetto: implicazioni operative

Un *layout* ergonomico può ridurre la paura o il disorientamento in condizioni difficili; un *illuminamento caldo e diffuso* può favorire calma e rilassamento; un'interfaccia di bordo chiara e coerente può generare fiducia e senso di controllo.

Per comprendere come le emozioni possano essere integrate nel design, è utile richiamare i principali modelli teorici elaborati in psicologia.

Non si intende qui ripercorrere l'intero dibattito scientifico, ma evidenziare quei modelli che offrono spunti concreti per una trasposizione progettuale nel contesto navale (Tabella 3).

Tabella 3: Caratteristiche delle teorie delle emozioni utilizzate

APPROCCIO	CARATTERISTICHE	RILEVANZA PER IL DESIGN
EVOLUZIONISTICO (EKMAN) [51]	<i>Individua sei emozioni universali di base (gioia, tristezza, rabbia, paura, disgusto, sorpresa) e definisce il Facial Action Coding System (FACS), sistema che decodifica le emozioni tramite le unità facciali</i>	<i>Fondamentale per i sistemi di riconoscimento emotivo basati su visione artificiale (monitoraggio comfort o stress a bordo).</i>
DIMENSIONALE (PLUTCHIK) [114]	<i>Le emozioni sono disposte su una ruota di otto affetti primari con combinazioni graduali.</i>	<i>Utile per progettare spazi che modulano gli stati emotivi attraverso colore, luce e texture.</i>
COGNITIVO (LAZARUS E SCHERER) [79][123]	<i>L'emozione nasce da una valutazione cognitiva (appraisal) della situazione.</i>	<i>Sottolinea la soggettività percettiva: due persone possono reagire diversamente allo stesso ambiente.</i>
COSTRUTTIVISTA (BARRETT) [12][13][14][15]	<i>Le emozioni sono costruzioni culturali, non universali.</i>	<i>Rilevante per progetti destinati a mercati globali: i codici emotivi variano per cultura</i>
MULTI-COMPONENTE (IZARD)[66][67]	<i>L'emozione è l'interazione tra tre componenti: neurofisiologica, espressiva e soggettiva.</i>	<i>Base teorica per l'Affective Computing, che integra voce, volto e segnali fisiologici.</i>

Da queste teorie emergono tre funzioni fondamentali delle emozioni, tutte rilevanti per la progettazione:

1. **Adattiva:** orientano comportamenti rapidi in risposta a stimoli ambientali (es. paura → ricerca di sicurezza, gioia → esplorazione);
2. **Comunicativa:** trasmettono stati interni agli altri e favoriscono cooperazione (utile in ambienti condivisi come la plancia o la cabina equipaggio);
3. **Motivazionale:** influenzano attenzione e impegno verso obiettivi significativi (fondamentale per la concentrazione e il benessere durante la navigazione).

In ambito navale, queste funzioni si traducono in linee guida progettuali concrete come vedremo nei paragrafi seguenti.

Le emozioni possono essere analizzate anche quantitativamente, utilizzando modelli che le rappresentano su assi bidimensionali di piacere e attivazione.

Il modello *valence–arousal* [90] rappresenta gli stati affettivi lungo due dimensioni:

- la *valence*, che indica la piacevolezza dell'esperienza (positiva o negativa), e
- l'*arousal*, che descrive il livello di attivazione fisiologica (da calma a eccitazione) (Figura 4).

Questo schema consente di descrivere le emozioni come coordinate, rendendole più facilmente correlabili a misure fisiologiche e comportamentali e quindi potenzialmente elaborabili mediante tecniche di machine learning [9].

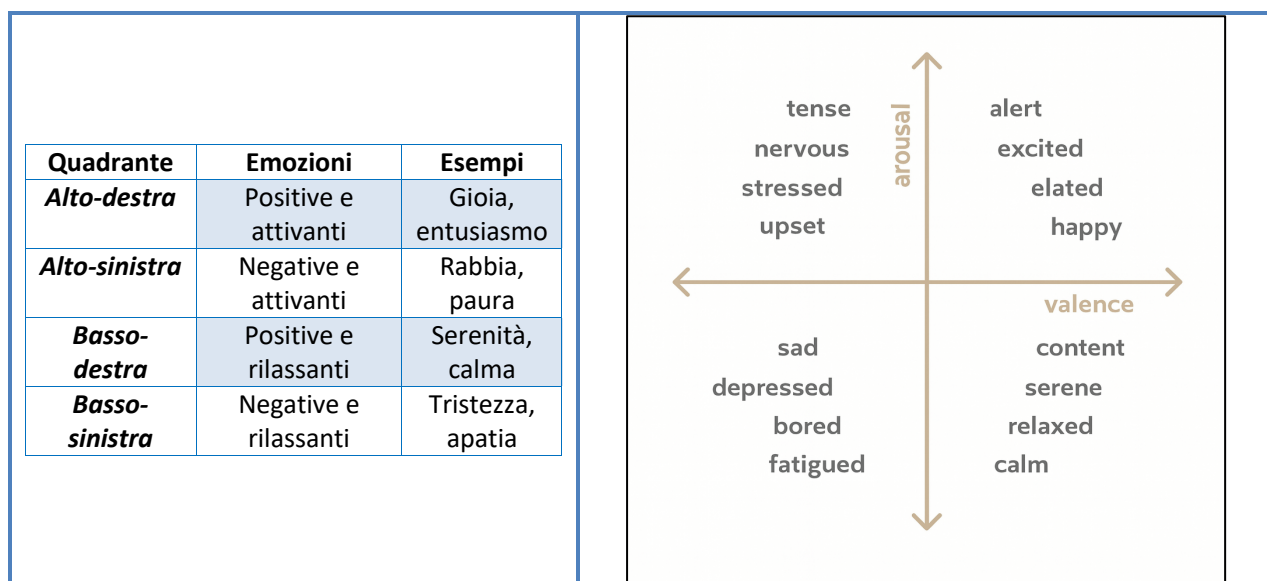


Figura 4: Diagramma Valenza - Arousal

Nell'ambito del design, questo modello è particolarmente utile perché permette, ad esempio, di valutare lo stato emotivo di un utente a bordo e di adattare l'ambiente in tempo reale con variazioni di luce, temperatura o suono che lo riportino in una zona di benessere (bassa attivazione, alta valenza).

La Tabella 4 riporta le tre componenti fondamentali di ogni sistema di riconoscimento emotivo.

Tabella 4: Componenti dell'emozione (secondo Izard, 1991).

COMPONENTE	DESCRIZIONE	ESEMPI
NEUROFISIOLOGICA	Attivazione corporea e cerebrale	Aumento frequenza cardiaca, attivazione dell'amigdala, talamo e corteccia cerebrale, conduttanza cutanea.
ESPRESSIVA	Manifestazioni esterne	Espressioni facciali, postura, tono della voce
SOGGETTIVA	Esperienza interiore consapevole	Sensazione di calma, paura o curiosità

Progettare tenendo conto di questi fattori significa agire simultaneamente su corpo, percezione e mente, traducendo il dato emotivo in scelte spaziali, tattili e luminose capaci di generare comfort e senso di sicurezza.

2.3. *Affective Computing: origine, metodi e rilevanza per il design nautico*

Con le basi teoriche appena illustrate, il discorso si sposta ora dall'ambito psicologico a quello tecnologico grazie all'introduzione dell'*Affective Computing*, termine coniato da Rosalind Picard [112] nel 1995 al MIT Media Lab, che indica l'insieme di tecnologie che consentono alle macchine di rilevare, interpretare e rispondere agli stati emotivi umani.

Lo scopo è quello di dotare i sistemi artificiali di una forma di intelligenza emotiva, capace di rendere l'interazione uomo-macchina più naturale, empatica e contestuale.

Nel campo del design, questa disciplina rappresenta il punto di contatto tra psicologia, neuroscienze e informatica.

Attraverso sensori, algoritmi e modelli di apprendimento automatico, l'*Affective Computing* consente di raccogliere dati fisiologici e comportamentali che descrivono il vissuto emozionale dell'utente: espressioni facciali, tono di voce, postura, ritmo cardiaco, conduttanza cutanea, nonché la scelta delle parole in un dialogo.

Inizialmente, questi sistemi si basavano su singole modalità sensoriali (principalmente volto e voce). Negli ultimi anni, tuttavia, l'approccio si è evoluto verso modelli multimodali, che combinano simultaneamente diversi canali percettivi per aumentare affidabilità e robustezza.

Un sistema che integra riconoscimento facciale, analisi vocale e segnali fisiologici può, ad esempio, distinguere meglio tra ansia e concentrazione, due stati che, a livello superficiale, presentano indici fisiologici simili.

Le applicazioni dell'*Affective Computing* si sono diffuse rapidamente in ambiti molto diversi, come mostra la Tabella 5.

Tabella 5: Applicazioni cross-settore dell'*Affective Computing*

SETTORE	ESEMPIO APPLICATIVO
SANITÀ	Monitoraggio dello stato emotivo di pazienti (stress, ansia, depressione); supporto in terapie cognitive-comportamentali.
EDUCAZIONE	Piattaforme didattiche adattive che modulano contenuti in base al livello di attenzione, frustrazione o interesse dello studente.
AUTOMOTIVE	Cockpit intelligenti che rilevano stanchezza o distrazione del conducente, intervenendo per aumentare la sicurezza (allarmi, regolazione clima).
ROBOTICA SOCIALE	Robot o assistenti virtuali empatici che adeguano il proprio comportamento agli stati emotivi dell'utente (es. compagni di cura per anziani).
DESIGN NAUTICO	Ambienti di bordo adattivi che personalizzano l'esperienza in funzione delle emozioni degli ospiti (modulando illuminazione, suoni, configurazioni interne).
NEURO-MARKETING	Analisi delle reazioni emotive dei consumatori a prodotti, pubblicità o servizi per ottimizzare il design di interni e layout a scopo commerciale.

Nel contesto navale e nautico, si aprono molteplici scenari.

Si può immaginare, ad esempio, una plancia di comando intelligente in grado di valutare i livelli di stress del comandante durante una manovra complessa. Se vengono rilevati segnali di

sovraccarico cognitivo (voce più tesa, battito accelerato), il sistema potrebbe ridurre automaticamente la luminosità dei display o filtrare le informazioni non critiche, migliorando la concentrazione.

Oppure un sistema di bordo per yacht da diporto che rileva emozioni negative negli ospiti – come ansia o irritabilità – e adatta il contesto per favorire rilassamento: diffondendo musica a bassa frequenza, modulando la luce in tonalità calde o aprendo automaticamente gli oscuranti per aumentare la visione del mare.

In entrambi i casi, la nave non è più un ambiente statico, ma un organismo dinamico e sensibile capace di leggere e rispondere alle emozioni umane. In questa evoluzione, la macchina passa da uno stato “reattivo” a uno “empatico”: interpreta segnali sottili e regola il comportamento di conseguenza, costruendo una forma di dialogo emotivo con l’utente. In tali scenari, l’adattamento deve essere progettato in modo trasparente e reversibile, evitando automatismi non controllabili e preservando la responsabilità decisionale dell’operatore.

Negli ultimi anni, l’*Affective Computing* ha dato origine a una nuova generazione di sistemi chiamata *Emotion AI*⁶: non solo in grado di riconoscere le emozioni, ma di anticiparle e reagire proattivamente. Nel contesto nautico, ciò apre la strada a una nuova categoria di imbarcazioni: le navi adattive, capaci di modulare l’ambiente fisico e digitale in base alle condizioni emotive di chi le abita. Tali capacità restano tuttavia soggette a limiti di affidabilità e richiedono un impianto etico-normativo solido.

2.4. Tecniche di riconoscimento delle emozioni

Il riconoscimento emozionale utilizza oggi una vasta gamma di tecniche, spesso combinate in sistemi integrati. Le principali modalità sono facciale, vocale, testuale e fisiologica.

Ciascuna ha punti di forza e limiti specifici, ma la loro integrazione multimodale consente di ottenere risultati più accurati e resistenti ai disturbi tipici dell’ambiente marino. La Tabella 6 confronta in sintesi questi canali di analisi.

Tabella 6: Confronto tra le principali tecniche di analisi delle emozioni

Analisi facciale		
Descrizione	Vantaggi	Limiti
È una delle modalità più diffuse e intuitive. Utilizza videocamere o sensori di profondità per rilevare i movimenti dei muscoli del viso e interpretarli secondo il modello <i>FACS</i> (<i>Facial Action Coding System</i>) di Paul Ekman.	Immediatezza, universalità, non invasività	Sensibilità a condizioni di luce variabile

⁶ <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/emotion-ai-explained>

Reti neurali convoluzionali (<i>CNN</i>) e modelli <i>Transformer</i> di visione artificiale analizzano in tempo reale micro-espressioni, contrazioni delle sopracciglia o curvature del sorriso. Nel contesto nautico, tale tecnologia può essere impiegata per monitorare il comfort emotivo dei passeggeri in cabine o spazi comuni, rilevando eventuali segni di stress o disagio dovuti a mare mosso, claustrofobia o fatica. Una telecamera integrata nel sistema di <i>infotainment</i>, ad esempio, può adattare automaticamente l'illuminazione o suggerire attività rilassanti quando rileva espressioni di tensione.		o occlusioni del volto.
Analisi vocale		
La voce è un indicatore potente dello stato affettivo. I sistemi di <i>speech emotion recognition</i> (SER) estraggono parametri acustici (come <i>pitch</i>, intensità, ritmo, durata delle pause) e li confrontano con modelli addestrati su database emotivi. In ambito tecnico, vengono usate feature come <i>MFCC</i> (<i>Mel-Frequency Cepstral Coefficients</i>) o <i>GeMAPS</i> [54], analizzate tramite reti RNN, LSTM o Transformer. A bordo di un'imbarcazione, un assistente vocale empatico potrebbe riconoscere quando l'utente parla con tono frustrato o impaziente e rispondere con modalità più chiare, concise e rassicuranti. Ad esempio, se un armatore chiede al sistema di climatizzazione "Perché fa ancora caldo?" con tono irritato, l'assistente può rispondere "Ho aumentato la ventilazione in cabina, la temperatura scenderà tra pochi minuti", modulando anche il tono di voce sintetica per risultare più calma.	Può rilevare emozioni anche in assenza di contatto visivo.	Vulnerabilità al rumore ambientale (vento, motore, onde).
Analisi testuale (<i>sentiment analysis</i>)		
In questo approccio, si analizzano i contenuti linguistici — testi, chat, diari di bordo o conversazioni — mediante modelli di <i>Natural Language Processing</i> (NLP) e grandi modelli di linguaggio (LLM) come BERT o GPT. L'obiettivo è identificare il tono emotivo del discorso e riconoscere pattern linguistici associati a stati affettivi. Nel contesto nautico, questa tecnica può essere applicata al monitoraggio del morale dell'equipaggio: l'analisi delle comunicazioni interne o dei log giornalieri può rivelare segnali precoci di stress, conflitto o demotivazione.	Permette di rilevare emozioni implicite nei contenuti.	Richiede dataset linguistici specializzati (terminologia marittima, registri tecnici) e fine tuning.

Un sistema intelligente può persino suggerire momenti di pausa o rotazione dei compiti se rileva un accumulo di linguaggio negativo o teso.		
Analisi fisiologica		
Questa categoria comprende i sensori che misurano parametri corporei: • ECG/PPG per il battito cardiaco e la variabilità (HR, HRV); • GSR (conduttanza cutanea) per la tensione emotiva; • EEG per il carico cognitivo[58]; • Eye-tracking per l'attenzione visiva; • Termografia per la risposta termica facciale. Nel design navale, questi strumenti trovano applicazione in simulatori di navigazione o in prototipi di plancia immersiva. Ad esempio, durante l'addestramento di un ufficiale, il sistema può monitorare HRV e conduttanza cutanea per valutare il livello di stress nelle manovre critiche, fornendo <i>feedback</i> immediato o regolando la difficoltà dello scenario.	Permette una misurazione diretta e oggettiva dello stato fisiologico di una persona.	Alta intrusività, richiede continua manutenzione, rischio di violazione della privacy.

L'approccio più promettente è quello multimodale, che combina i vari canali di analisi in un unico sistema integrato.

In un ambiente di bordo, ad esempio, un rumore improvviso può compromettere l'analisi vocale, ma l'aumento di frequenza cardiaca e le micro-espressioni facciali possono comunque confermare una risposta di allarme.

I dati possono essere fusi con due tecniche:

- *early fusion*, quando i segnali vengono elaborati simultaneamente,
- *late fusion*, quando ciascun canale è analizzato separatamente e i risultati sono poi integrati.

Questa sinergia garantisce maggiore accuratezza e robustezza, anche in condizioni ambientali complesse come il mare dove un canale può essere momentaneamente non disponibile e quindi è necessario avere a disposizione più canali di accesso all'informazione in modo da garantire un continuo monitoraggio della *safety on board*.

2.5. Emotional Adaptive Design: dal rilevamento all'adattamento in tempo reale

L'evoluzione delle tecnologie affettive e dell'intelligenza artificiale conduce oggi verso una nuova fase del design: quella dell'*Emotional Adaptive Design* (EAD)[18].

In questo paradigma, il progetto non si limita più a rispondere ai bisogni funzionali o estetici dell'utente, ma adatta dinamicamente le proprie configurazioni in base agli stati emotivi percepiti.

L'obiettivo non è più solo creare ambienti "piacevoli", ma ecosistemi capaci di interagire emotivamente, modulando l'esperienza in tempo reale per favorire benessere, concentrazione o relax.

Nel contesto navale e nautico, l'EAD conduce verso ambienti di bordo adattivi che, in senso progettuale, rispondono agli stati dell'utente modulando parametri sensoriali e informativi. In questa prospettiva, l'imbarcazione non è più concepita come un ambiente statico, ma come un sistema dinamico che integra sensing, interpretazione e adattamento, con l'obiettivo di supportare benessere, attenzione e sicurezza, preservando trasparenza, consenso e controllo umano.

Un sistema del genere si basa sull'integrazione di tre livelli fondamentali:

1. Rilevamento: attraverso sensori biometrici, analisi facciale e vocale, il sistema raccoglie dati sull'utente (frequenza cardiaca, tono di voce, espressioni).
2. Interpretazione: algoritmi di *Emotion AI* elaborano i segnali per riconoscere lo stato affettivo (es. ansia, calma, entusiasmo).
3. Reazione adattiva: l'ambiente modifica automaticamente luce, suono, temperatura o interfaccia visiva per favorire uno stato emotivo ottimale.

Questo processo costituisce un loop adattivo *user-centred* tra persona e ambiente, dove l'AI agisce come mediatore sensibile tra il mondo interno e quello fisico.

Un esempio emblematico di tale approccio è rappresentato dai concept sperimentali sviluppati da centri di ricerca come *SenseAble City Lab* (MIT)⁷ e *DesignLab* dell'Università di Delft⁸, che esplorano interni adattivi capaci di modificare morfologia e atmosfera in base al comportamento dell'utente.

Il designer non è più soltanto autore di forme, ma curatore dell'interazione emotiva tra persona, ambiente e tecnologia.

In un sistema di *Emotional Adaptive Design*, il progettista deve entrare in sintonia con il proprio cliente e saper tradurre i dati emotivi in decisioni progettuali coerenti, bilanciando empatia, funzionalità e sicurezza.

Per governare questi sistemi adattivi e garantire responsabilità e controllo umano, la tesi formalizza la figura del *Designer in the Loop (DITL)* che verrà approfondita nel capitolo successivo.

In questo modello, il progettista interagisce costantemente con i sistemi di AI, valutando le proposte generate in base alle risposte emozionali raccolte dagli utenti. L'AI suggerisce, il

⁷ <https://senseable.mit.edu/>

⁸ <https://delftdesignlabs.org/>

progettista interpreta, valida e armonizza: la creatività resta umana, ma potenziata da una comprensione profonda delle esperienze vissute.

BOX: Esempio applicativo di una cabina con personalizzazione empatica

Immaginiamo una cabina di yacht equipaggiata con sensori ambientali e dispositivi indossabili. Durante la navigazione, il sistema registra i parametri biometrici dei passeggeri (battito, postura, espressioni).

Se rileva un calo di valenza (emozioni negative) o un aumento di arousal (tensione), interviene modulando:

- Luce: transizione verso tonalità calde e diffuse.
- Suono: passaggio a frequenze basse o suoni naturali (onde, vento).
- Clima: regolazione di temperatura e flusso d'aria per aumentare comfort.
- Comunicazione: l'assistente vocale adotta un tono rassicurante e rallenta il ritmo del parlato.

Tali interventi non hanno solo valore estetico, ma psicofisiologico: agiscono sul sistema limbico, inducendo rilassamento e riduzione dello stress. In questo modo, la cabina diventa uno spazio di supporto al benessere, dove il design non si limita a soddisfare, ma cura l'esperienza dell'utente.

L'adozione del design empatico comporta, tuttavia, importanti sfide etiche e metodologiche. Rilevare emozioni significa anche gestire dati personali estremamente sensibili, come parametri fisiologici o pattern comportamentali.

È quindi necessario garantire trasparenza, consenso informato e protezione dei dati, definendo protocolli chiari per la loro conservazione e uso.

Inoltre, l'interazione emotiva tra uomo e macchina deve preservare il principio di autonomia dell'utente: la barca può suggerire, ma non manipolare; può accompagnare, ma non sostituire la volontà umana.

Questa linea di equilibrio tra assistenza e controllo rappresenta una delle sfide più delicate del design emozionale e richiede un dialogo costante tra designer, ingegneri, psicologi e filosofi della tecnologia.

3. Dal concetto di Human in the Loop al Designer in the Loop

Nel design nautico contemporaneo, la trasformazione digitale e l'adozione crescente di strumenti di intelligenza artificiale rendono centrale una questione di *governance* del progetto: chi mantiene l'intenzionalità progettuale e attraverso quali punti di controllo. In questo lavoro l'attenzione non riguarda soltanto l'utente finale, ma il ruolo del progettista come interprete e decisore all'interno di processi in cui dati, vincoli tecnici, dimensione esperienziale ed elementi emotivi interagiscono.

In ambito nautico, la dimensione emozionale è spesso parte del valore atteso dal prodotto e del processo decisionale: come osserva Antonio Luxardo in un'intervista di settore, *«il fattore emozionale nella nautica è trainante per tutti, a partire dagli armatori fino a coloro che partecipano alla costruzione delle imbarcazioni»*⁹.

Ne consegue che il progetto nautico non può limitarsi a requisiti funzionali o prestazionali, ma deve interpretare aspirazioni, percezioni e desideri. In questo scenario, la sfida non è sostituire l'ingegno umano con la potenza computazionale, bensì integrare le capacità dell'AI (analisi di dati d'uso, supporto alla sintesi di requisiti, generazione di alternative) in un processo creativo e responsabile, guidato dal giudizio estetico, dall'esperienza tecnica e dalla valutazione critica del progettista.

3.1. Da Human in the Loop a Designer in the Loop

Il concetto di Human in the Loop (HITL) affonda le proprie radici nella cibernetica e nei sistemi di controllo sviluppati a partire dagli anni Quaranta. Norbert Wiener (1948) formalizza la retroazione come principio di equilibrio dinamico tra sistema e operatore umano (Figura 5), un'impostazione che ha informato numerosi contesti applicativi ad alta criticità, nei quali la decisione finale è spesso mantenuta sotto responsabilità umana.

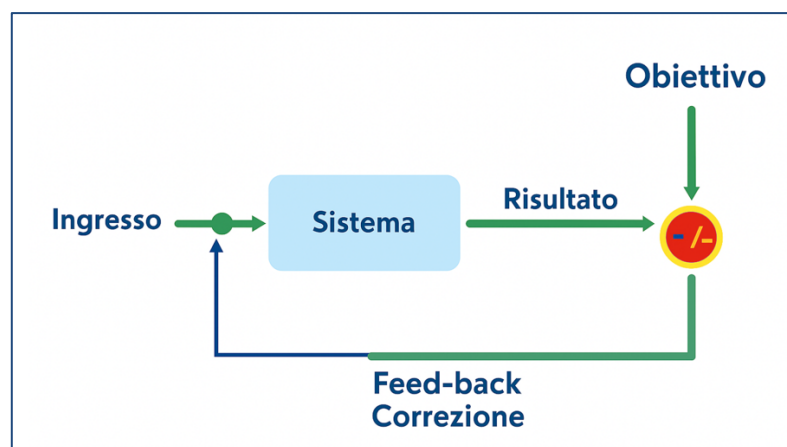


Figura 5: La retroazione di N. Wiener

⁹ <https://www.dailynautica.com/interviste/antonio-luxardo-dn-nautica-diporto-oggi-richiede-competenze-sensibilita/171924/#:~:text=nuove%20necessit%C3%A0%20del%20mercato%20e%2C,L%E2%80%99interazione%20tra%20gli%20attori%20ch>

Con la diffusione dell'AI e del machine learning, HITL è stato riformulato per indicare l'inserimento di interventi umani in fasi specifiche del ciclo di vita del modello (ad esempio annotazione, addestramento, verifica, correzione e validazione). Il presupposto è che il contributo umano possa ridurre errori, colmare lacune nei dati e migliorare l'affidabilità delle decisioni rispetto al contesto d'uso.

Negli ultimi decenni HITL è stato applicato in numerosi ambiti, in particolare nei domini *safety-critical* e ad alta responsabilità (diagnostica medica, finanza, robotica collaborativa), oltre che in contesti di creatività computazionale.

Un esempio significativo è *Wekinator* (Fiebrink)¹⁰, che consente agli utenti di addestrare iterativamente un modello di *machine learning* introducendo correzioni in tempo reale, così da ottenere output coerenti con un'intenzione espressiva

I sistemi HITL offrono tre vantaggi principali:

- *Trasparenza*, poiché ogni fase di interazione richiede che le decisioni del sistema siano comprensibili e interpretabili dall'operatore umano.
- *Controllo*, perché la presenza dell'uomo nel ciclo decisionale garantisce la possibilità di validare, modificare o annullare i risultati.
- *Affidabilità*, in quanto la collaborazione tra capacità algoritmica e giudizio umano riduce la necessità di modelli "perfetti", consentendo miglioramenti progressivi a ogni iterazione.

Tali benefici emergono pienamente quando l'interazione è progettata con meccanismi di tracciabilità (log), criteri di *override*, e responsabilità chiaramente assegnate.

Questo paradigma ibrido è spesso descritto come più efficace di approcci totalmente automatizzati o totalmente manuali, perché combina rapidità computazionale e capacità interpretativa contestuale dell'essere umano.

Nel design, e in particolare in quello nautico, la centralità del progettista non può essere sostituita dall'automazione.

Da questa consapevolezza nasce il paradigma *Designer in the Loop (DITL)*, inteso come configurazione socio-tecnica in cui il progettista resta attore decisionale primario e l'AI opera come sistema di supporto (generazione, analisi, simulazione), con punti di controllo espliciti lungo il *workflow* (Figura 6). Il DITL sposta il focus dall'utente generico al progettista esperto, riconoscendone il ruolo di co-creatore all'interno di un sistema intelligente. L'obiettivo non è

¹⁰ <http://www.wekinator.org/>

soltanto validare le soluzioni proposte dall'AI, ma utilizzare l'interazione uomo-macchina come motore di generazione creativa.

Nel processo progettuale, infatti, gli obiettivi raramente sono definiti una volta per tutte: tendono a emergere, essere negoziati e raffinarsi progressivamente attraverso iterazioni e feedback.

In questo contesto, il DITL consente al progettista di mantenere un ruolo decisionale attivo, interpretando, selezionando e perfezionando i risultati generati dall'intelligenza artificiale.

Come osservano Wang et al. [39], mantenere il progettista "nel loop" riduce la dipendenza da una comunicazione preventiva e rigida degli obiettivi: eventuali fraintendimenti possono essere corretti istantaneamente attraverso l'interazione diretta con il sistema.

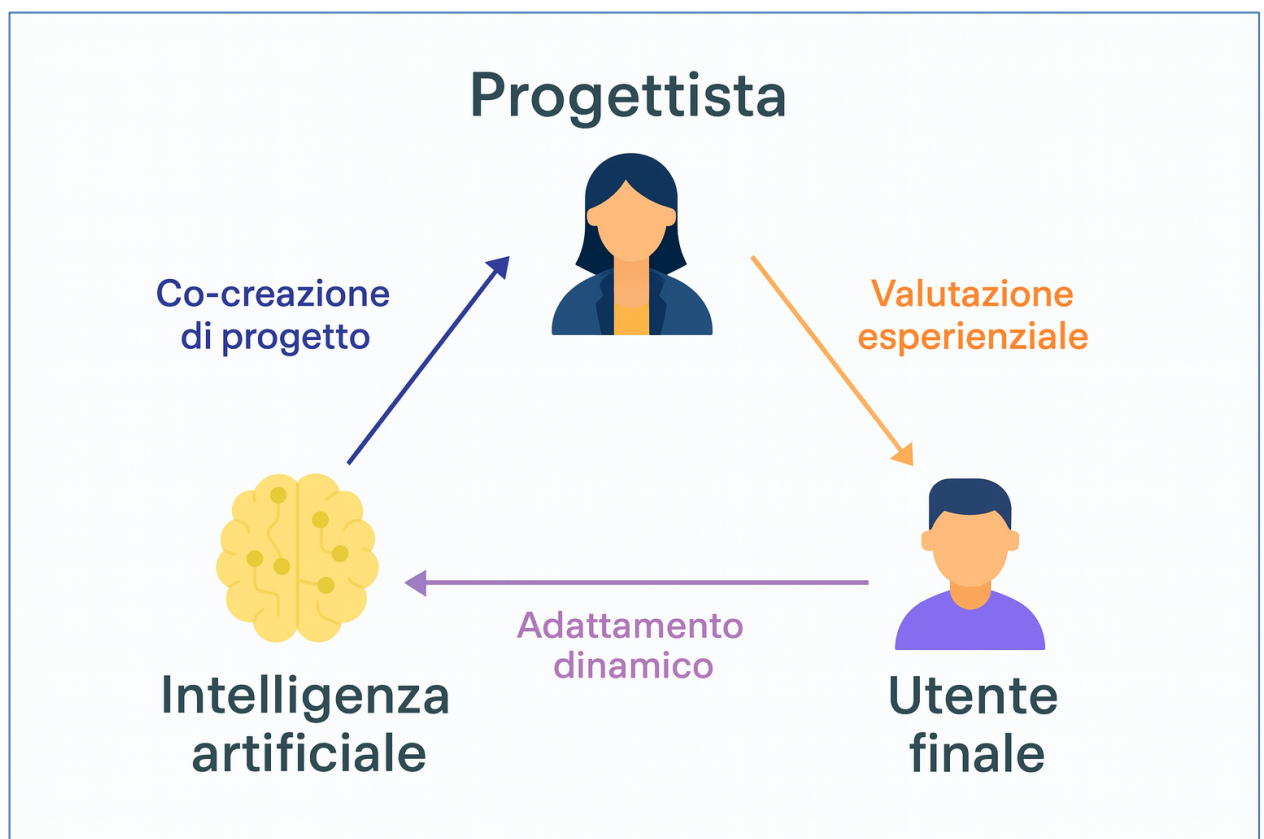


Figura 6: Designer in the Loop

L'AI agisce quindi come un assistente proattivo, capace di suggerire variazioni o alternative sulla base dei dati e dei vincoli di progetto, ma sempre sotto la supervisione e la direzione critica del designer.

In sintesi, il paradigma DITL trasforma l'AI da strumento esecutivo a partner cognitivo in senso funzionale, cioè capace di supportare esplorazione, comparazione e valutazione di alternative.

La Tabella 7 seguente riassume le differenze principali tra i due approcci:

Tabella 7: Confronto tra HITL e DITL

ASPETTO	HUMAN IN THE LOOP	DESIGNER IN THE LOOP
RUOLO DELL'UMANO	Validatore di output	Co-creatore e interprete
RUOLO DELL'AI	Sistema da correggere	Partner cognitivo
FOCUS	Accuratezza algoritmica, sicurezza, accountability, riduzione rischio	Qualità esperienziale e progettuale, responsabilità del progettista
APPLICAZIONI TIPICHE	Addestramento AI, supervisione robotica	Design generativo, ambienti adattivi
OUTPUT	Algoritmo migliorato	Progetto ottimizzato per l'esperienza

3.2. Framework operativo per il Design Nautico

L'applicazione del modello DITL al design nautico richiede un framework operativo che integri metodi di progetto consolidati (ad es. Design Thinking e approcci iterativi) con strumenti digitali e sistemi di AI, lungo l'intero ciclo che va dalla definizione dei requisiti alla validazione con l'utente (Figura 7).



Figura 7: Framework operativo del DITL

1. *Analisi e definizione dei requisiti.* Il progettista raccoglie dati tecnici, prestazionali ed emozionali attraverso interviste, simulazioni e strumenti di *affective computing*. L'obiettivo è tradurre i desideri del cliente in parametri progettuali misurabili (lunghezza, utilizzo, comfort, materiali, atmosfere di bordo).
2. *Ideazione generativa.* Algoritmi di *generative design* e *machine learning* propongono varianti geometriche e configurazioni alternative, esplorando un ampio spazio di soluzioni in base ai vincoli definiti. In questa fase, modelli come *ShipHullGAN*¹¹ o sistemi parametrici possono suggerire forme di carena o layout interni coerenti con obiettivi prestazionali e stilistici.
3. *Valutazione e affinamento.* Il progettista analizza i risultati proposti dal sistema tramite ambienti immersivi (VR) o piattaforme CAD interattive, modificando manualmente parametri e geometrie. Ogni iterazione aggiorna il sistema (parametri, vincoli, prompt, dataset o modelli), migliorando progressivamente il modello AI, in termini di capacità di previsione e apprendimento.
4. *Prototipazione e simulazione immersiva.* Le soluzioni selezionate vengono trasformate in modelli virtuali completi, testati attraverso simulazioni idrodinamiche (CFD) e analisi ergonomiche. Sistemi come *Future Marine Suite*¹² consentono di validare il comfort e le reazioni emozionali dei futuri utenti mediante sensori biometrici e ambienti virtuali realistici.
5. *Validazione e feedback dell'utente.* Il progetto viene infine testato con armatori o utilizzatori rappresentativi, raccogliendo feedback qualitativi e quantitativi. I dati così ottenuti alimentano un nuovo ciclo di progettazione, consolidando il modello DITL come sistema di apprendimento continuo.

Questo ciclo iterativo (progettista ↔ AI ↔ utente) garantisce che le decisioni progettuali evolvano dinamicamente, bilanciando efficienza, emozione e personalizzazione.

L'approccio DITL consente al designer di mantenere il controllo cognitivo e creativo del processo, delegando alla macchina le funzioni di analisi, calcolo e previsione. La collaborazione diventa così simbiotica: l'intelligenza artificiale amplifica la capacità del progettista di esplorare spazi di progetto più vasti, senza sostituirne la sensibilità estetica o etica. Come osservato da Gemelli e Pagani [106], questa prospettiva rappresenta «una trasformazione

¹¹ [arXiv:2305.00210](https://arxiv.org/abs/2305.00210)

¹² <https://www.applied.it/en/solutions/creator-future-marine-sol-15>

epistemologica del design stesso», dove il sapere tecnico e quello emotivo convergono in una dimensione integrata di intelligenza aumentata¹³.

3.3. Applicazioni nel settore nautico: configuratori, simulazione e generazione

Le prime applicazioni del paradigma HITL e DITL nel settore nautico si riscontrano in strumenti di configurazione e simulazione avanzata.

Il configuratore *Creator* di *Future Marine*¹⁴ consente, ad esempio, la personalizzazione collaborativa di yacht in ambienti 3D immersivi e multiutente, in cui progettista e armatore interagiscono in tempo reale sulle scelte di materiali, arredi e layout.

Analogamente, *C-Tender*¹⁵ ha introdotto nel 2023 un configuratore ispirato alle piattaforme automobilistiche, che consente agli utenti di esplorare e modificare digitalmente ogni aspetto della propria imbarcazione, rafforzando il legame emotivo con il progetto.

A livello sperimentale, progetti come *WiderCat92*¹⁶ hanno utilizzato cockpit virtuali per consentire a progettisti e clienti di “navigare” all’interno del modello prima della costruzione effettiva, riducendo tempi decisionali e aumentando la qualità delle scelte. In parallelo, la ricerca accademica esplora l’impiego di reti neurali generative (GAN) per la creazione automatica di carene, come proposto da Yonekura et al. [138], aprendo la strada a una collaborazione sempre più stretta tra intelligenza artificiale e progettazione creativa.

Infine, gli studi più recenti mirano a sviluppare interfacce emozionali adattive, capaci di modificare in tempo reale le condizioni di bordo (illuminazione, temperatura, suoni) in funzione dello stato emotivo degli occupanti, secondo i principi dell’*affective computing* di Picard. Anche se ancora sperimentali, tali applicazioni dimostrano come il design stia evolvendo verso un modello di interazione empatica e personalizzata. In questi scenari, la progettazione deve esplicitare limiti inferenziali, condizioni d’uso e requisiti di consenso/trasparenza, per evitare adattamenti non desiderati o interpretazioni indebite.

Il paradigma *DITL* rappresenta un’evoluzione del più ampio modello *HITL*, adattato al contesto del design avanzato e, in particolare, nautico.

Esso riafferma la centralità del progettista come attore cognitivo primario e pone l’intelligenza artificiale in un ruolo di supporto intelligente, orientato alla collaborazione e non alla sostituzione.

¹³ https://www.interaction-design.org/literature/article/5-stages-in-the-design-thinking-process?srsId=AfmBOooq0Eq_bWt7-M9G5DI8twZPKfOoZLbBUWez42l-S2j7JfEr8ok4-

[:~:text=This%20is%20one%20of%20the,and%20the%20problems%20they%20face](https://www.applied.it/en/solutions/creator-future-marine-sol-15)

¹⁴ <https://www.applied.it/en/solutions/creator-future-marine-sol-15>

¹⁵ <https://www.yachtdigest.com/c-tender-gamma-configuratore-nautico/#:~:text=grande%20rivoluzione%3A%20il%20primo%20configuratore,delle%20imbarcazioni%20del%20Cantiere>

¹⁶ <https://wider-yachts.com/widercat-92/>

In questo modello, la tecnologia amplifica le capacità umane, analitiche, creative e decisionali, consentendo un ciclo di progettazione più rapido, adattivo ed esperienziale.

Nel settore nautico, dove emozione, personalizzazione e lusso sensoriale rappresentano elementi distintivi, il DITL apre nuove prospettive: il progetto non è più solo un insieme di scelte tecniche, ma un ecosistema di esperienze generate attraverso un dialogo continuo tra uomo e macchina.

La metodologia DITL è stata testata nel corso di questi tre anni di ricerca in tre ambiti principali:

1. Design esperienziale e interviste con clienti nautici, per l'analisi delle preferenze e delle emozioni durante la fase di concept.
2. Formazione marittima, in collaborazione con l'Accademia della Marina Mercantile di Genova, per l'analisi emotiva durante le sessioni al simulatore ECDIS e al simulatore di plancia CETENA.
3. Ambiente iperbarico, con la DRASS S.r.l., per la validazione di parametri fisiologici in relazione allo stress e al comfort respiratorio.

Nei capitoli seguenti verranno descritte queste sperimentazioni e verranno analizzati i risultati ottenuti.

4. Agenti e modelli generativi nel design: XR, LLM e sistemi multi-agente

Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale ha superato la funzione di strumento computazionale per configurarsi come un'infrastruttura cognitiva del progetto, capace non solo di elaborare dati, ma di interpretarli, apprendere e generare conoscenza autonoma. Essa non sostituisce la creatività umana, ma la estende, instaurando un dialogo continuo in cui la macchina diventa un interlocutore dotato di sensibilità operativa.

Come osserva Floridi [57], l'AI può essere intesa come una «*tecnologia dell'intelligenza*», in grado di amplificare la nostra capacità di comprendere e di agire sul mondo.

Nel campo del design nautico, questa trasformazione assume una valenza peculiare. La barca non è un semplice prodotto industriale, ma uno spazio culturale e sensoriale, in cui forma e funzione si intrecciano con l'esperienza emotiva. In questo contesto, la tecnologia non riduce la complessità del processo creativo, ma la amplifica, fornendo nuovi strumenti per esplorare la relazione tra mente, corpo e ambiente marino. L'intelligenza artificiale diventa così un'estensione della sensibilità, un mezzo per interpretare e modellare le emozioni attraverso la materia e lo spazio.

Proseguendo dal paradigma del *Designer in the Loop*, questo capitolo analizza le tecnologie che rendono possibile la collaborazione empatica tra progettista e intelligenza artificiale.

L'obiettivo è comprendere come agenti intelligenti, modelli generativi e ambienti immersivi ridefiniscano la pratica del design, trasformandolo da processo lineare e prescrittivo a sistema dinamico, adattivo e cognitivo.

Il capitolo chiarisce definizioni e architetture (agenti e multi-agenti), quindi discute il ruolo dei modelli generativi e della XR nel workflow, fino al contributo dei modelli linguistici empatici nelle fasi di co-design e valutazione esperienziale.

4.1. Gli agenti intelligenti nel design contemporaneo

L'agente intelligente rappresenta una delle forme più rilevanti dell'intelligenza artificiale applicata al design¹⁷.

A differenza di pipeline deterministiche o sistemi puramente reattivi, un agente è un'entità orientata all'obiettivo, capace di percepire input, pianificare azioni, utilizzare strumenti e aggiornare il proprio stato interno sulla base degli esiti (Figura 8). Nelle architetture agentiche contemporanee basate su LLM, il modello linguistico funge da componente di ragionamento e orchestrazione: interpreta istruzioni complesse, scompone un obiettivo in sotto-compiti e verifica la coerenza dei risultati rispetto a criteri prefissati.

¹⁷ <https://www.anthropic.com/engineering/building-effective-agents>

Accanto al modello, un agente dispone tipicamente di una base di conoscenza, di una memoria e di strumenti d'azione (*tools*). Attraverso tecniche di *retrieval-augmented generation* (RAG), il sistema può recuperare contenuti da fonti esterne (norme, documenti, dati progettuali) e integrarli nella generazione, aumentando tracciabilità e fondazione delle risposte.

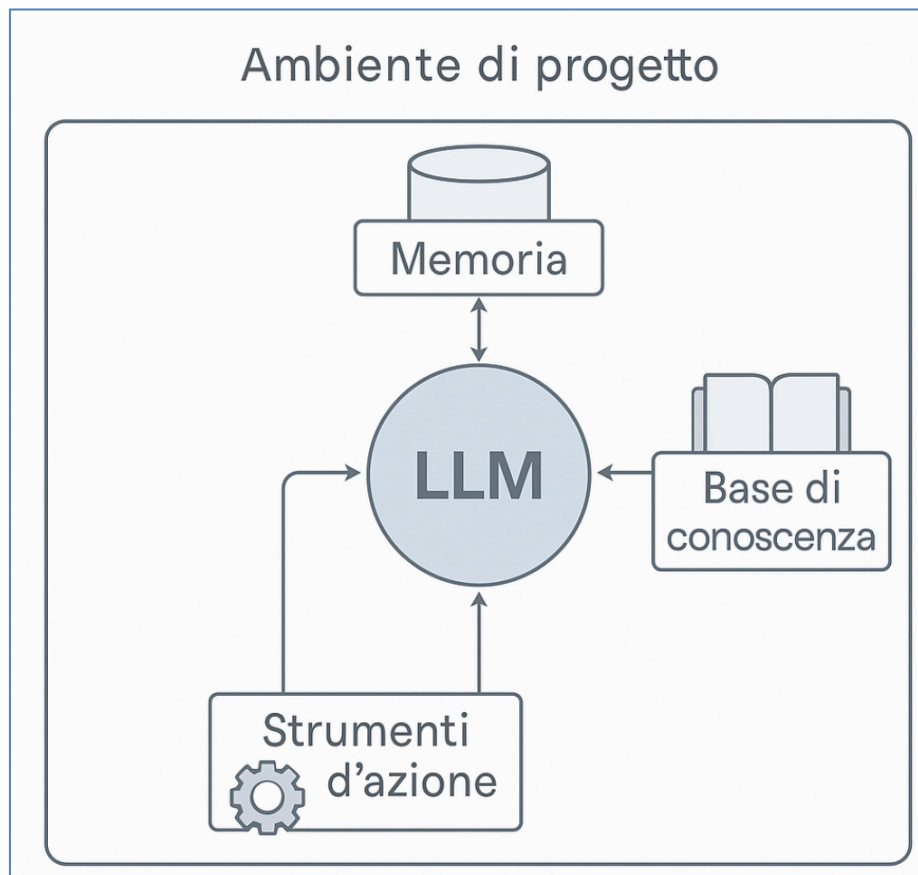


Figura 8: Architettura di un agente AI (AI agent).

La memoria conserva invece l'esperienza accumulata, migliorando progressivamente le prestazioni e la coerenza del comportamento.

I *tools* consentono infine di agire nel mondo digitale: collegarsi a servizi, generare documenti, eseguire simulazioni o interagire con software di modellazione. L'agente diventa così un intermediario tra intelligenza simbolica e azione concreta.

Nel design nautico, tali agenti possono analizzare le interviste con i clienti, estrarre requisiti tecnici ed emozionali, generare proposte di layout, calcolare prestazioni o sintetizzare i risultati in report strutturati.

Il progettista mantiene la supervisione e responsabilità del processo, ma si avvale di una rete di assistenti digitali che ampliano la sua capacità di percepire, elaborare e valutare.

Un agente, dunque, è una forma di *situated intelligence*, che opera attraverso un ciclo continuo di percezione, decisione, azione e apprendimento (modello *Perceive–Decide–Act–Learn*) (Tabella 8).

Tabella 8: Ciclo *Perceive–Decide–Act–Learn* di un agente AI

FASE	FUNZIONE	ESEMPIO IN UN SISTEMA REALE
PERCEIVE	Raccoglie informazioni dal mondo esterno tramite sensori o input digitali.	Un microfono registra la voce del cliente.
DECIDE	Elabora le informazioni, ragiona sugli obiettivi e sceglie l'azione migliore.	L'agente analizza le emozioni e decide se chiedere chiarimenti.
ACT	Esegue l'azione scelta sull'ambiente.	L'agente risponde al cliente con una frase empatica.
LEARN	Valuta l'efficacia dell'azione e aggiorna le proprie strategie per migliorare.	L'agente modifica il proprio modello per riconoscere meglio le emozioni future.

Nel design, gli agenti AI possono essere interpretati come mediatori cognitivi: strumenti in grado di elaborare informazioni complesse, simulare scenari e suggerire soluzioni alternative, mantenendo però un dialogo costante con l'intuizione e la sensibilità del progettista. In tal senso, l'agente non agisce come sostituto dell'uomo, ma come partner cognitivo in un processo di co-creazione [37].

Gli agenti intelligenti si distinguono generalmente in quattro categorie funzionali, ciascuna con un differente grado di autonomia e capacità adattiva. In Tabella 9 sono stati schematizzati i principali tipi di agenti AI esistenti ad oggi e sono state indicate alcune applicazioni possibili per ciascuno.

Tabella 9: Tipologie di agenti AI

TIPOLOGIA	CARATTERISTICHE PRINCIPALI	VANTAGGI	LIMITI	ESEMPI DI APPLICAZIONI NEL DESIGN NAUTICO
AGENTI REATTIVI	Rispondono in tempo reale a stimoli ambientali ed emozionali.	Immediatezza, capacità di garantire comfort dinamico.	Limitati all'adattamento locale, senza pianificazione futura.	Regolazione automatica di luce, temperatura, acustica in base agli stati emotivi dei passeggeri.
AGENTI PROATTIVI	Anticipano bisogni e formulano proposte di ottimizzazione basate su analisi dati.	Migliorano efficienza e sicurezza, supportano il processo decisionale.	Necessitano dataset ampi e affidabili.	Analisi dati di utilizzo della barca per proporre nuovi layout, rotte alternative, configurazioni.
AGENTI COLLABORATIVI	Operano in sinergia con il progettista, generando soluzioni e varianti alternative.	Accelerano iterazioni progettuali, stimolano co-creatività.	Richiedono interfacce intuitive e feedback continui.	Generazione di alternative di design 3D, validazione rapida di configurazioni, co-design immersivo.

AGENTI ADATTIVI	Apprendono dai feedback degli utenti e aggiornano la propria memoria progettuale.	Evolgono nel tempo, costruendo conoscenza utile per iterazioni future.	Possibili problemi di bias o sovradattamento.	Costruzione di una memoria progettuale condivisa, miglioramento progressivo di ergonomia e comfort.
SISTEMI MULTI-AGENTE	Insiemi di agenti specializzati che cooperano sotto un coordinamento centrale (es. CrewAI).	Elevata scalabilità, capacità di gestire progetti complessi in parallelo.	Elevata complessità implementativa, necessità di orchestrazione accurata.	Ecosistemi digitali di supporto al progettista: simulazioni parallele, analisi integrata, ottimizzazione dinamica.

L'integrazione di tali agenti all'interno del processo di design trasforma radicalmente la dinamica creativa: il progettista non è più l'unico autore, ma diventa un direttore d'orchestra di intelligenze, definendo obiettivi, vincoli, criteri di valutazione e punti di controllo.

Ogni agente svolge un ruolo specifico, dalla raccolta dei dati al supporto decisionale, contribuendo alla costruzione di un sapere condiviso, multidimensionale e dinamico.

Questi esempi mostrano come gli agenti AI rappresentino il punto di contatto tra la dimensione percettiva dell'utente e la dimensione operativa del progetto, trasformando il design in un sistema adattivo e riflessivo.

4.2. Sistemi multi-agenti e design collaborativo

L'evoluzione naturale degli agenti singoli conduce ai *sistemi multi-agente (MAS)* (Figura 9), ecosistemi di entità autonome che cooperano per raggiungere obiettivi complessi. In un MAS, ciascun agente possiede competenze specifiche (analisi, generazione, valutazione, sintesi) e contribuisce alla costruzione di una conoscenza condivisa. La collaborazione tra agenti consente di affrontare compiti articolati, mantenendo al contempo flessibilità e scalabilità. Nel design nautico, un sistema multi-agente può coordinare diverse fasi del processo progettuale.

Un agente analizza le emozioni del cliente e ne deduce i bisogni impliciti; un altro genera varianti di progetto coerenti con i vincoli emersi; un terzo valuta le prestazioni tecniche, mentre un quarto compone un documento finale destinato al progettista. Un agente "orchestratore" coordina l'intero processo, assegnando compiti e verificando la coerenza complessiva.

Questa architettura riproduce in forma digitale la struttura di un team reale, in cui figure diverse collaborano su livelli differenti, ma convergenti.

I MAS incarnano così la logica del design distribuito: un processo non più lineare, ma reticolare, in cui la conoscenza si costruisce attraverso il dialogo continuo fra competenze umane e artificiali.

L'output del sistema non è mai definitivo, ma il risultato di una sintesi iterativa e progressiva, che evolve nel tempo.

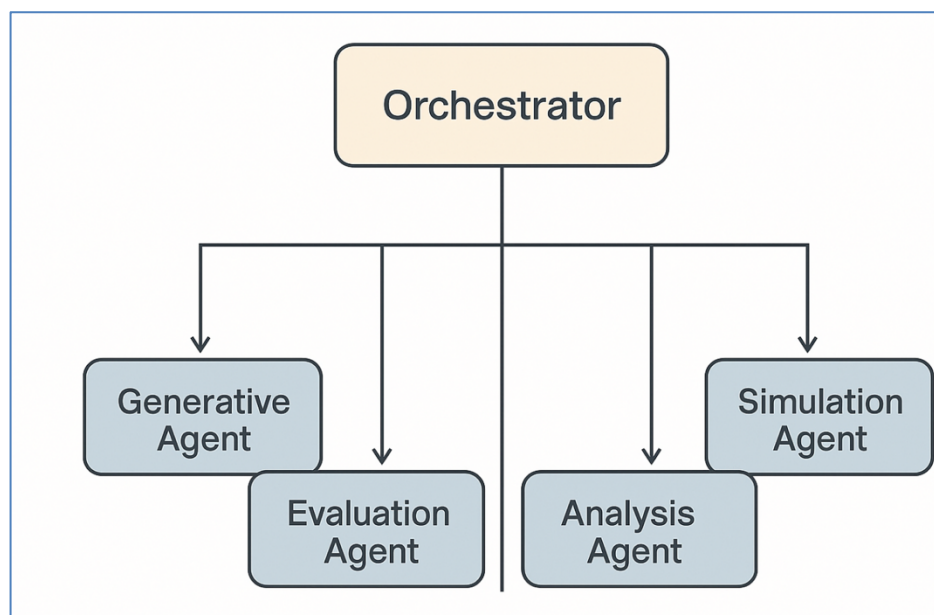


Figura 9: Sistema multi-agente

Gli agenti comunicano tra loro attraverso diversi paradigmi di interazione:

- *Direct Messaging*: scambio diretto di messaggi e dati tra agenti, utile per processi rapidi e modulari;
- *Blackboard System*: spazio di memoria condiviso in cui gli agenti depositano e leggono informazioni, permettendo la collaborazione asincrona;
- *Orchestrazione centralizzata*: un agente coordinatore assegna compiti e integra i risultati;
- *Cooperazione distribuita*: gli agenti operano in autonomia, negoziando le soluzioni migliori.

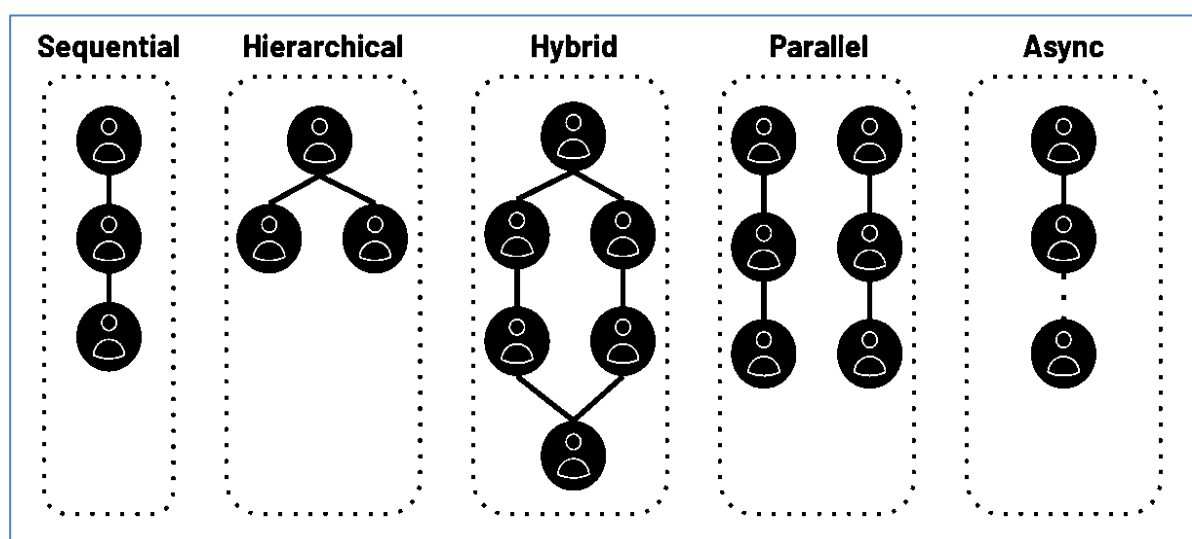


Figura 10: Varie tipologie di comunicazioni tra più agenti

Inoltre gli agenti possono lavorare in modo parallelo, sequenziale, contemporaneamente o in maniera asincrona a seconda delle esigenze e del campo applicativo (Figura 10).

4.3. **Generative AI e creatività aumentata**

La *Generative AI* rappresenta una delle frontiere più significative nella trasformazione del processo progettuale. Essa non si limita a replicare conoscenza esistente, ma è in grado di creare nuovi artefatti a partire da pattern appresi, rendendo possibile un'interazione inedita tra creatività umana e capacità computazionale.

Nel design, la *generative AI* agisce come un amplificatore dell'immaginazione: il progettista non parte più da una tela bianca, ma da un insieme di possibilità generate algoritmicamente, che può selezionare, modificare o reinterpretare. Questo passaggio dal *creation* al *co-creation* segna l'inizio della cosiddetta creatività aumentata (*augmented creativity*) (Figura 11), in cui la macchina diventa un interlocutore capace di proporre alternative inattese ma coerenti con i vincoli progettuali.

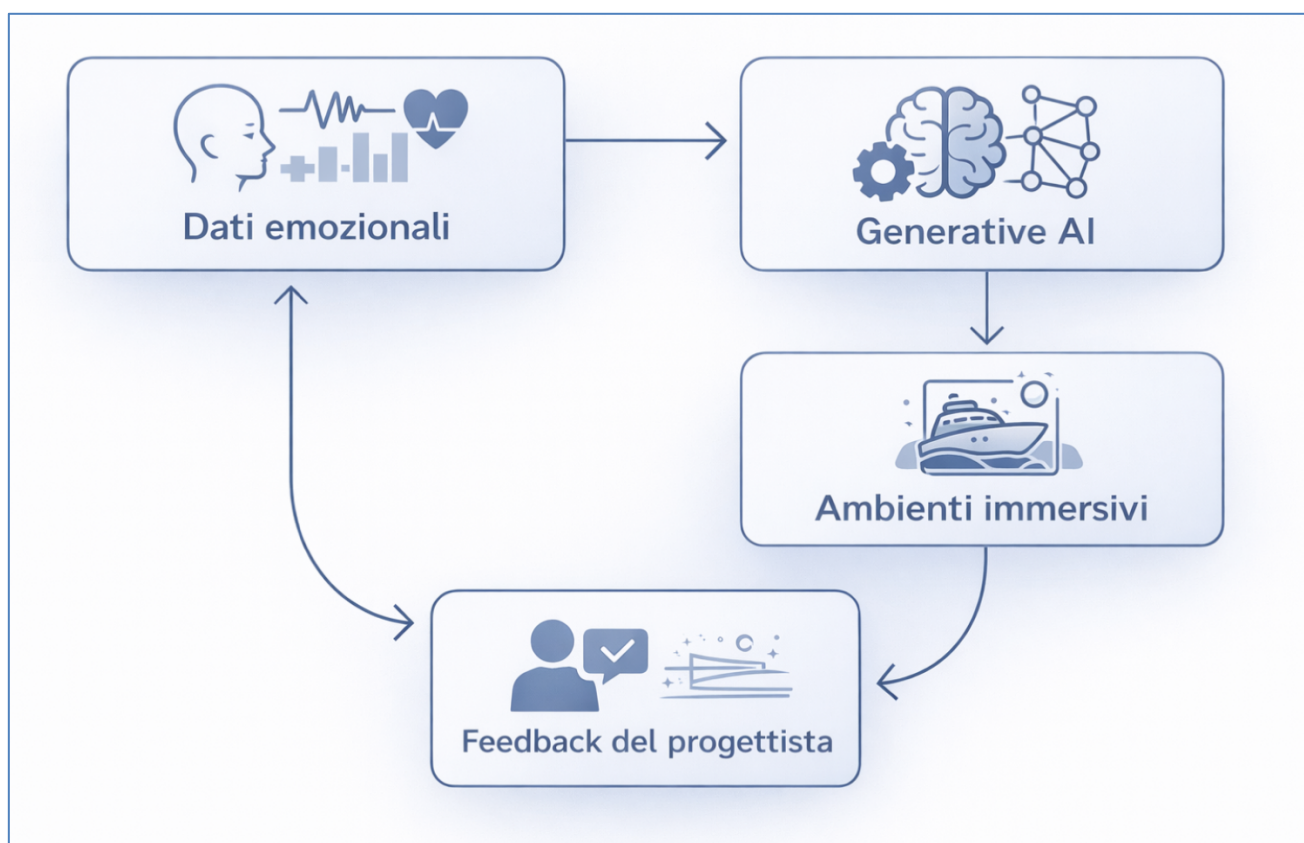


Figura 11: Ciclo di creatività aumentata

Gli algoritmi più utilizzati per la generazione progettuale appartengono a tre famiglie principali:

- *Generative Design*, basato su modelli parametrici e regole di ottimizzazione (come quelli integrati in *Autodesk Generative Design* o *Fusion 360*), che permettono di esplorare migliaia di soluzioni geometriche a partire da criteri di performance e comfort;

- *Modelli di diffusione e reti GAN (Generative Adversarial Networks)*, utilizzati per la creazione di immagini, materiali e ambienti fotorealistici;
- *Modelli generativi multimodali (ad esempio text-to-image, ...)*, come quelli impiegati in *Midjourney* o *DALL·E*, che traducono descrizioni testuali in rappresentazioni visuali ad alto grado di realismo.

In ambito nautico, queste tecniche consentono di generare varianti di layout interni ed esterni, studiare il comportamento della luce naturale in cabina o simulare texture e materiali per ottimizzare il comfort visivo e tattile. L'AI diventa così una compagna di esplorazione progettuale, capace di suggerire soluzioni che il progettista può validare, filtrare e perfezionare secondo criteri estetici, ergonomici e culturali.

Come evidenziato da Oxman [96], il passaggio da un design prescrittivo a un design generativo rappresenta una rivoluzione epistemologica: non si tratta più di risolvere un problema definito, ma di generare mondi possibili. Nel contesto del *Designer in the Loop*, il progettista rimane al centro di questo processo, ma dialoga con un sistema in grado di “immaginare” insieme a lui.

Piattaforme come NVIDIA Omniverse supportano workflow collaborativi e simulazioni in tempo reale; in un'architettura estesa, tali ambienti possono essere integrati con moduli di misurazione affettiva per correlare percezioni e parametri di progetto.

Qui l'AI consente non solo di simulare l'illuminazione, l'acustica e la percezione spaziale, ma anche di adattare automaticamente le configurazioni alle reazioni emozionali rilevate in fase di test immersivo.

In questo senso, la *Generative AI* diventa un'estensione cognitiva del progettista: uno strumento di esplorazione estetica e funzionale che trasforma la progettazione in un dialogo continuo tra uomo, macchina e ambiente.

4.4. *Extended reality e la dimensione immersiva del progetto*

Parallelamente allo sviluppo dei modelli generativi, la *Extended Reality (XR)* – che comprende realtà virtuale (VR), aumentata (AR) e mista (MR) – ha aperto la strada a una nuova forma di progettazione esperienziale e immersiva.

La XR non è soltanto una tecnologia visuale, ma un ambiente cognitivo che permette di “abitare” il progetto prima che venga realizzato, trasformando il modo in cui il designer e l'utente percepiscono e valutano lo spazio.

Come sostiene Dourish [46], l'interazione con lo spazio digitale diventa un'estensione dell'agire corporeo: il progetto non è più una rappresentazione bidimensionale, ma un'esperienza vissuta, dove percezione, emozione e decisione si intrecciano.

Nel design nautico, la XR trova applicazioni particolarmente efficaci in tre ambiti:

- *Prototipazione immersiva*: ambienti di bordo simulati in VR permettono al progettista di testare ergonomia, circolazione e comfort percettivo con un realismo elevato.
- *Esperienza utente e co-design*: attraverso la realtà aumentata, l'armatore o il cliente possono interagire direttamente con le configurazioni proposte, personalizzando materiali, colori e finiture.
- *Formazione e simulazione*: la realtà mista consente di addestrare gli equipaggi o di analizzare scenari critici in condizioni controllate, integrando dati biometrici e comportamentali.

Un caso emblematico può essere rappresentato da prototipi di simulazione immersiva che integrano misure psicofisiologiche per valutare comfort, carico cognitivo e stress in scenari di bordo, in particolare in ambito formativo e safety-critical.¹⁸

La XR diventa così una piattaforma di comunicazione tra progettista e utente, dove il design non è più un atto statico ma un dialogo immersivo fondato sull'esperienza e sull'emozione. Come afferma Kolarevic [73], il progetto contemporaneo *«non rappresenta più un oggetto, ma un'interfaccia esperienziale in continua evoluzione»*.

4.5. Empathic LLM e Design emozionale

L'avvento dei *Large Language Models (LLM)* ha segnato una svolta nella comunicazione uomo-macchina, ma è solo con la nuova generazione di *Empathic Large Language Model (eLLM)* che si apre la possibilità di instaurare interazioni realmente empatiche, capaci di riconoscere e modulare le emozioni dell'utente (**Error! Reference source not found.**).

Un eLLM integra moduli di analisi multimodale – voce, testo, volto e contesto – con algoritmi di comprensione semantica e affettiva. In questo modo, la macchina non si limita a “capire” cosa l'utente dice, ma anche come lo dice, riconoscendo toni, intenzioni e stati emotivi.

La piattaforma HumeAI [D7], ad esempio, rappresenta uno degli sviluppi più avanzati in questo campo: attraverso reti neurali multimodali, essa analizza in tempo reale le espressioni vocali e facciali per inferire le emozioni dell'interlocutore, restituendo risposte empatiche e adattive.

In parallelo, soluzioni come MorphCast [W20] Emotion AI o iMotions [D8] integrano analisi facciale, biometrica e linguistica per applicazioni in ambito educativo, sanitario o esperienziale. Traslate nel contesto nautico, tali tecnologie potrebbero alimentare assistenti di bordo sensibili

¹⁸ <https://www.mdpi.com/2227-7080/13/6/253>

alle emozioni, capaci di percepire stress o disagio e proporre risposte adeguate – dal tono di voce della guida virtuale alla regolazione ambientale.

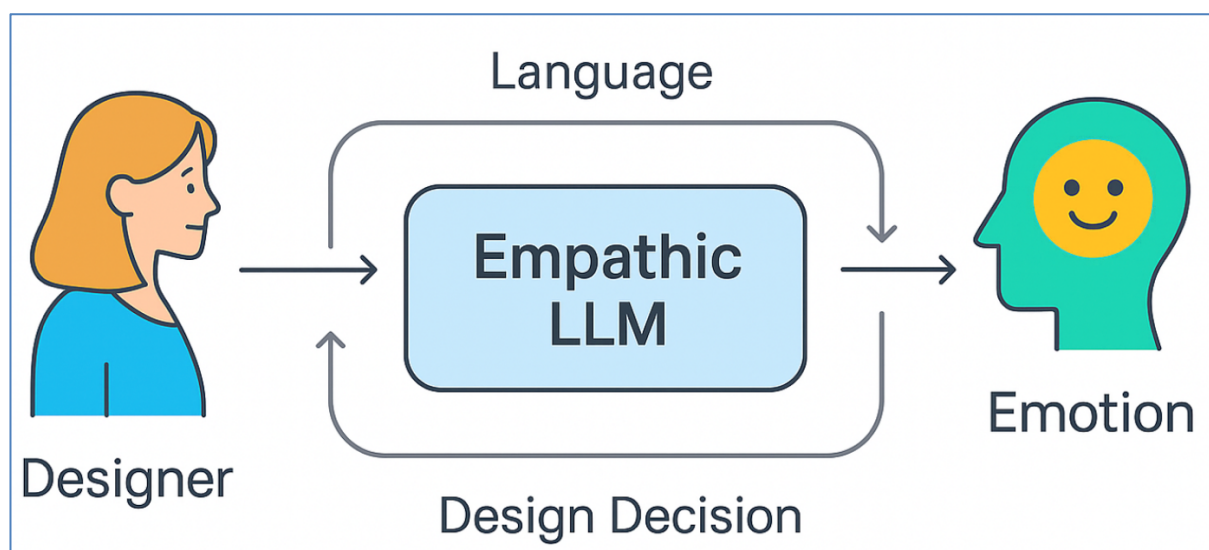


Figura 12: schema di un eLLM

L'interazione tra progettista ed eLLM, invece, apre nuove prospettive per il design adattivo: durante la fase di concept, il sistema può dialogare con l'utente interpretando reazioni emotive implicite e traducendole in parametri di progetto.

In questo modo, la componente emozionale – spesso ineffabile o soggettiva – diventa parte strutturale del processo progettuale.

Come nota Picard, «insegnare alle macchine a comprendere le emozioni umane non significa renderle più simili a noi, ma rendere noi più consapevoli di ciò che sentiamo» [112].

Nel design, questa consapevolezza si traduce nella possibilità di progettare non solo per l'utente, ma con l'utente, integrando le sue risposte emotive nel ciclo di sviluppo.

4.6. Conclusioni

L'integrazione di AI agents, sistemi generativi, tecnologie immersive e modelli linguistici empatici delinea un nuovo orizzonte per il design nautico, in cui il progetto non è più concepito come un oggetto statico, ma come un sistema dinamico capace di recepire informazioni, interpretare segnali e supportare decisioni lungo l'intero ciclo progettuale. In questa trasformazione, il progettista rimane il centro del processo: non delega l'intenzionalità progettuale alla macchina, ma estende la propria capacità di esplorazione e di valutazione attraverso strumenti che operano come alleati epistemici e creativi, rendendo più fluida la transizione tra requisiti, scenari d'uso e alternative di soluzione.

Questo nuovo equilibrio non riduce il ruolo umano, ma lo potenzia: l'AI non "pensa al posto" del progettista, bensì pensa con lui, abilitando un ciclo iterativo in cui ipotesi, vincoli e valutazioni vengono riformulate e verificate in modo continuo. Ne deriva una prospettiva coerente con il paradigma *Designer in the Loop*, in cui la qualità dell'interazione non dipende soltanto dalla potenza generativa degli strumenti, ma soprattutto dalla progettazione dei punti di controllo, dalla tracciabilità delle scelte e dalla capacità di rendere espliciti criteri, assunzioni e limiti. La sfida è quindi duplice: da un lato sviluppare pipeline agentiche che siano realmente utili (non solo "spettacolari"), dall'altro preservare trasparenza, responsabilità e controllo umano in processi dove l'automazione può introdurre opacità, *bias* o semplificazioni indebite.

In questa prospettiva, il design nautico del futuro può essere inteso come un dialogo tra uomo, macchina e mare: un ecosistema intelligente in cui la tecnologia diventa strumento di consapevolezza, la forma diventa linguaggio dell'esperienza e l'interazione viene progettata per sostenere affidabilità, comprensione e sicurezza, soprattutto nei contesti operativi più sensibili.

4.7. Sviluppi futuri (MCP e formati token-efficient).

Un'evoluzione recente, particolarmente rilevante per l'orchestrazione di agenti e per l'integrazione di strumenti e risorse esterne, è rappresentata dal *Model Context Protocol (MCP)*¹⁹, che mira a standardizzare l'interazione tra applicazioni basate su modelli e servizi di tool, risorse e prompt. MCP adotta *JSON-RPC 2.0* come *wire format*: i messaggi sono quindi serializzati in JSON secondo lo schema *request/response/notification*. In molte architetture agentiche e RAG, tuttavia, una quota significativa del costo non dipende tanto dal trasporto, quanto dalla fase in cui risultati strutturati (spesso JSON annidato e ripetitivo) vengono trasformati e "impacchettati" per essere inclusi nel contesto dell'LLM. In tali scenari la verbosità sintattica di JSON (chiavi ripetute, parentesi, virgolette) può introdurre overhead non informativo rispetto al contenuto.

Per ridurre questo *overhead* stanno emergendo formati sperimentali "*token-efficient*" pensati specificamente per l'uso *model-facing*, tra cui *TOON (Token-Oriented Object Notation)*²⁰: una notazione compatta concepita come strato di traduzione (JSON ↔ TOON) per il passaggio di dati strutturati verso modelli generativi, più che come sostituto universale di JSON nelle API e nello storage. In prospettiva, un'integrazione coerente con MCP potrebbe dunque mantenere JSON-RPC per garantire interoperabilità, adottando al contempo notazioni token-efficient solo nella fase di serializzazione dei dati destinati al contesto del modello, con procedure di validazione e round-trip (TOON→JSON) utili ad assicurare correttezza, robustezza e auditabilità.

¹⁹ <https://modelcontextprotocol.info/docs/concepts/transports/>

²⁰ <https://github.com/toon-format/toon>

Queste soluzioni non sono state implementate nella presente tesi, poiché avrebbero richiesto ulteriori verifiche sistematiche su interoperabilità, sicurezza (*parsing*/sanitizzazione e rischio di *injection*), e sull'impatto effettivo non solo sul consumo di token, ma anche sulla qualità e stabilità delle risposte, ma potrebbero essere spunto per ulteriori sviluppi.

5. Aspetti etici e normativi del design adattivo emozionale

5.1. *Implicazioni etiche dell'AI nel design basato sulle emozioni*

L'impiego di tecnologie di intelligenza artificiale in grado di analizzare segnali associati agli stati affettivi umani solleva questioni etiche complesse. Da un lato, tali applicazioni possono migliorare l'esperienza utente e supportare il benessere, ad esempio attraverso adattamenti ambientali che riducono stress o sovraccarico informativo; dall'altro, possono introdurre rischi rilevanti per autonomia, privacy e fiducia. In particolare, la raccolta e l'elaborazione di dati potenzialmente sensibili (volto, voce, postura e segnali fisiologici) può abilitare forme di profilazione non consensuale o interpretazioni indebite dello stato della persona, soprattutto quando l'inferenza venga impiegata per orientare comportamenti o decisioni.

Un ulteriore profilo critico riguarda la fallibilità inferenziale: i modelli possono produrre errori sistematici legati a bias culturali, di genere, differenze individuali o neurodiversità, generando attribuzioni affettive non corrette. Ne possono derivare effetti indesiderati, quali adattamenti ambientali non richiesti, feedback inappropriati o, in scenari commerciali, pratiche riconducibili al marketing emotivo. In questo quadro, la responsabilità del progettista consiste nel trattare i risultati dell'AI come indicatori probabilistici e non come verità psicologiche, definendo soglie di affidabilità, contesti d'uso ammessi e meccanismi di controllo umano.

Parallelamente, l'integrazione di AI affettiva nel design richiede un equilibrio tra personalizzazione e accettabilità: l'adattamento può aumentare l'engagement, ma può anche generare diffidenza se non è comprensibile, reversibile e motivato. Di conseguenza, risulta essenziale adottare un approccio *human-centred* fondato su trasparenza, *explainability* delle logiche di adattamento, possibilità di opt-out e controllo dell'utente. All'interno di questa tesi, il principio guida è coerente con il paradigma *Designer in the Loop*: l'AI può supportare l'interpretazione di segnali e contesti, ma la traduzione di tali evidenze in scelte di stile, ergonomia, interazione e funzionalità resta una responsabilità progettuale umana. Ne deriva la necessità di un atteggiamento critico e consapevole, capace di valutare limiti, distorsioni e implicazioni delle soluzioni proposte.

5.2. *Quadro normativo europeo sull'AI Act*

Il Regolamento (UE) 2024/1689 sull'intelligenza artificiale (AI Act) è entrato in vigore il 1° agosto 2024 e prevede un regime di applicazione graduale. Alcune disposizioni — tra cui i divieti relativi alle pratiche

proibite e gli obblighi in materia di alfabetizzazione all'uso dell'AI (AI literacy) — si applicano dal 2 febbraio 2025, mentre il quadro regolatorio diventa pienamente applicabile dal 2 agosto 2026

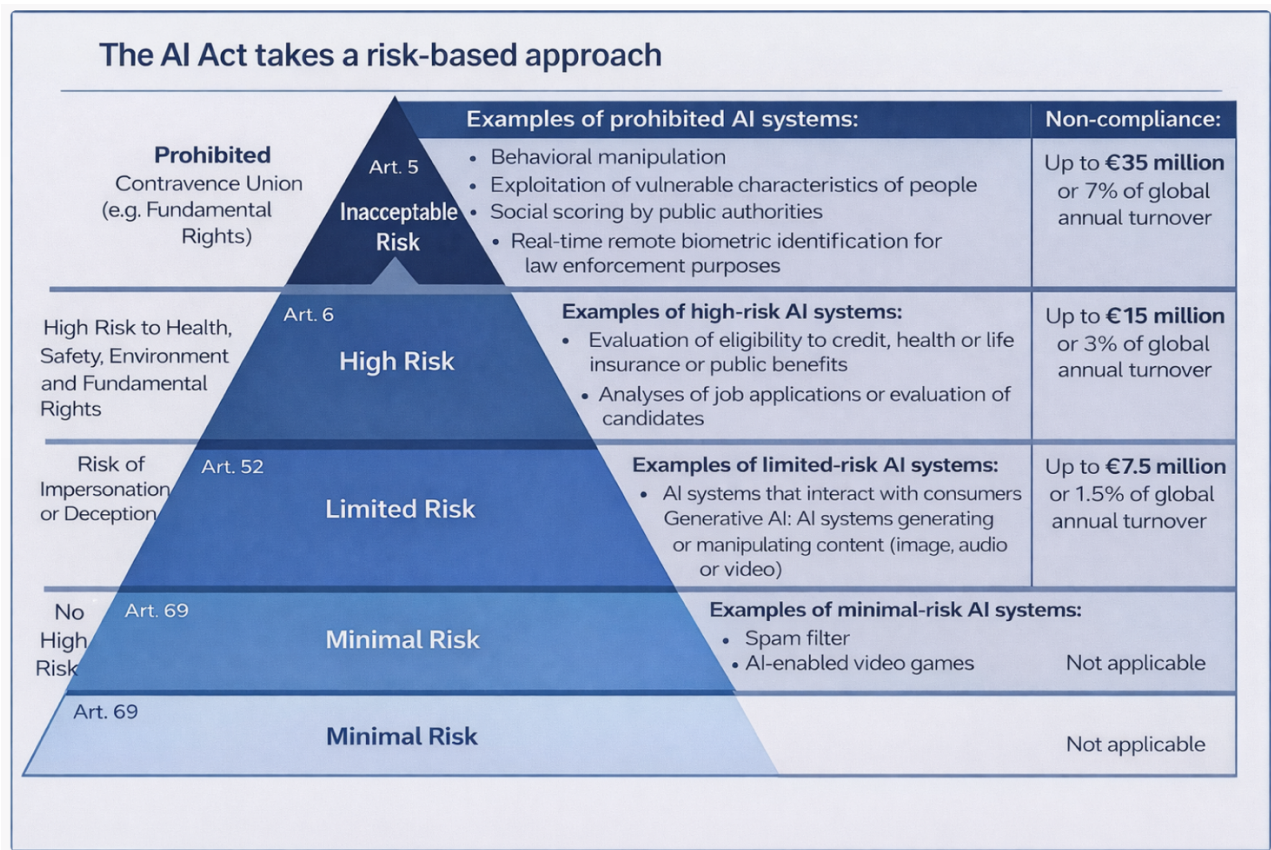


Figura 13: Classificazione delle applicazioni AI

L'AI Act introduce un approccio basato sul rischio, distinguendo quattro categorie di sistemi: rischio inaccettabile, rischio alto, rischio limitato e rischio minimo (Figura 14). In termini operativi, ciò implica per imprese, istituzioni e sviluppatori la necessità di mappare i sistemi di intelligenza artificiale adottati o in fase di sviluppo e di adeguarsi progressivamente ai requisiti previsti. Tale esigenza riguarda anche i prototipi sviluppati in ambito accademico, soprattutto quando vengano integrati in prodotti, dimostratori o sperimentazioni pubbliche.

Per le applicazioni che coinvolgono biometria o inferenze su stati affettivi, è particolarmente rilevante chiarire perimetro d'uso, finalità, controllo umano e trasparenza verso gli interessati. In linea con l'impostazione del Regolamento, l'adozione di sistemi che operano in domini sensibili richiede la definizione di responsabilità, misure di governance e criteri verificabili di utilizzo, al fine di ridurre rischi di opacità, bias e interpretazioni improprie.

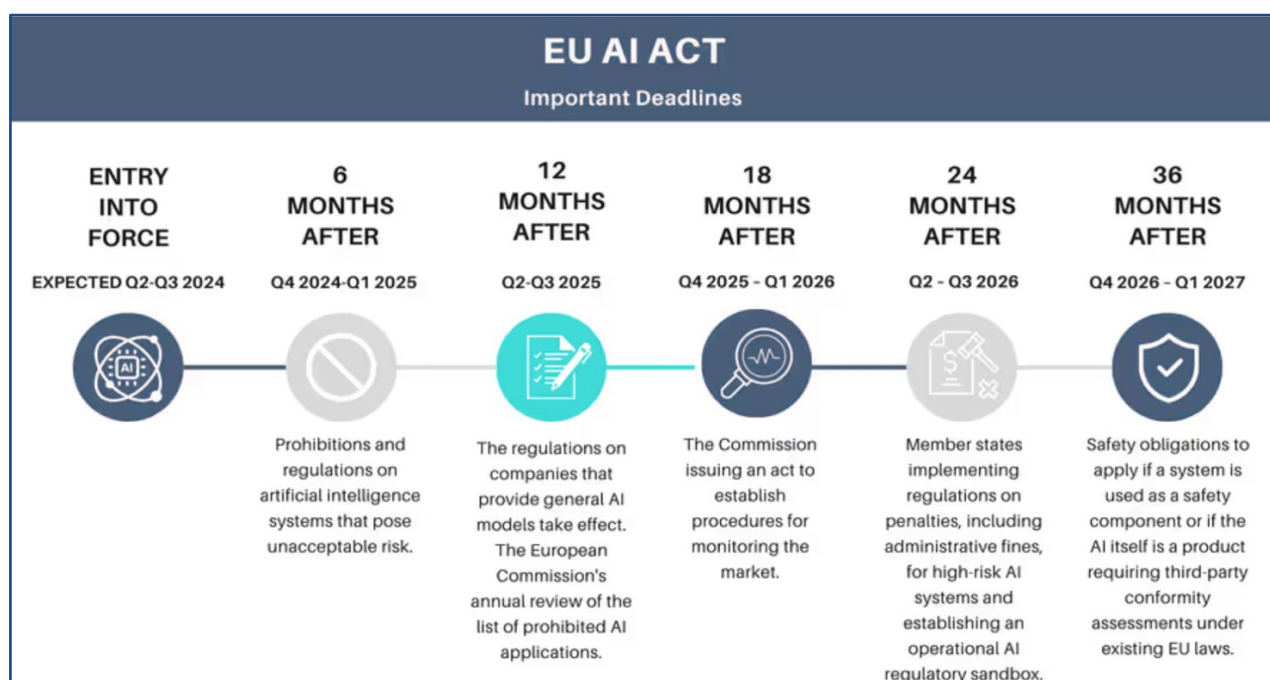


Figura 14: Timeline dell'AI Act²¹

5.2.1. Norme per la ricerca sperimentale ed accademica

L'AI Act pone una forte enfasi sulla tutela dei diritti fondamentali delle persone coinvolte o potenzialmente impattate dai sistemi di intelligenza artificiale e rinvia, per quanto concerne il trattamento dei dati personali, al Regolamento generale sulla protezione dei dati (GDPR).

Nel contesto della ricerca sperimentale e accademica, trova dunque applicazione il GDPR, che ammette deroghe per finalità di ricerca scientifica purché rigorosamente vincolate. In particolare, l'articolo 89 richiede l'adozione di garanzie tecniche e organizzative — quali pseudonimizzazione e minimizzazione — finalizzate a proteggere la privacy degli interessati durante lo svolgimento delle attività di ricerca. Eventuali limitazioni ai diritti degli interessati (accesso, rettifica, cancellazione, limitazione, portabilità) sono ammissibili solo nella misura strettamente necessaria e proporzionata al perseguimento degli obiettivi scientifici.

In questo quadro, uno studio universitario può trattare anche dati biometrici a condizione che sussista una base giuridica adeguata e che vengano implementate garanzie proporzionate: informativa chiara e trasparente, limitazione delle finalità, criteri di accesso ai dati e, ove possibile, approcci pseudonimi o anonimizzati. La normativa può inoltre richiedere, in casi specifici — ad esempio in presenza di violazioni di dati personali o di trattamenti ad alto rischio — comunicazioni o consultazioni preventive con l'autorità competente.

²¹ <https://prighter.com/resources/eu-artificial-intelligence-act-timeline-implications>

Nel complesso, il quadro europeo rafforza l'esigenza che la ricerca sull'AI integri principi di etica, responsabilità e tutela della privacy fin dalla progettazione, secondo l'approccio del *privacy by design*.

5.3. La sperimentazione di questa tesi

Nel corso della ricerca dottorale, gli esperimenti basati sull'analisi multimodale (voce, volto, postura e indicatori psicofisiologici) sono stati impostati come attività sperimentali a fini didattici e scientifici. Sono state adottate misure orientate a trasparenza e conformità etico-legale: informativa chiara per i partecipanti, descrizione di finalità e metodi, indicazione dei dati raccolti e predisposizione di moduli di consenso informato, con possibilità di revoca in qualunque momento.

Per ridurre i rischi, è stato applicato il principio di minimizzazione: sono stati raccolti esclusivamente i segnali necessari agli obiettivi dello studio (ad esempio tracciamento di punti chiave del volto e del corpo) e i dati sono stati pseudonimizzati prima dell'archiviazione. Inoltre, sono state adottate misure di sicurezza (archiviazione cifrata, accesso controllato e limitato al team di ricerca) e garanzie di riservatezza.

In un'ottica di trasparenza, i partecipanti sono stati informati sull'impiego degli algoritmi e delle piattaforme di analisi. In linea con la letteratura etica sull'informatica affettiva, tali misure (minimizzazione, informazione chiara, consenso e gestione dei rischi) mirano a tutelare benessere e autonomia degli utenti. Infine, il team di ricerca ha monitorato la possibile presenza di bias o errori di classificazione e ha escluso l'uso dei dati per finalità estranee allo studio.

Infine, dal punto di vista legale, gli esperimenti condotti nell'ambito di questa tesi — e quelli previsti come prosecuzione della linea di ricerca — sono stati progettati in conformità al GDPR (base giuridica: consenso esplicito; coinvolgimento del DPO; valutazione d'impatto ove richiesta) e tenendo conto del quadro introdotto dall'AI Act, ove applicabile. Ogni fase è stata impostata nel rispetto dei principi di accountability e delle raccomandazioni etiche discusse nella letteratura di Human–Computer Interaction.

L'attività di ricerca è stata inoltre sottoposta alla valutazione del Comitato Etico di Ateneo (CERA) dell'Università di Genova, ottenendo parere favorevole nell'aprile 2025 (Figura 15). Il Comitato, con funzione consultiva, verifica che gli studi rispettino i diritti e la dignità della persona e siano condotti secondo standard etici e normativi. Il parere etico non costituisce un mero adempimento formale, ma rappresenta una verifica indipendente della correttezza metodologica, della tutela dei partecipanti e dell'adeguatezza delle misure adottate per informazione, consenso

e trattamento dei dati. In tal senso, contribuisce a rafforzare la solidità scientifica e la credibilità del progetto, facilitando la disseminazione dei risultati in contesti accademici e industriali.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
Comitato Etico per la Ricerca di Ateneo (CERA)

Parere N. 2025/33 del Comitato Etico per la Ricerca di Ateneo

Vista la richiesta di parere al Comitato etico per la ricerca di Ateneo pervenuta in data 17/02/25 dallo sperimentatore principale/responsabile scientifico: prof. Mario Ivan Zignego per il progetto dal titolo: "DIANA (Designer Intelligence And Nautical Analysis)".

Si comunica quanto segue:

il Presidente verificato che le richieste di modifica avanzate dal CERA sono state accolte e apportate, a seguito del mandato a procedere ricevuto dal Comitato nella seduta del 12/03/2025, esprime, per quanto di competenza, parere favorevole per l'attuazione dello studio.

Prof. G. Ridolfi
(Presidente CERA)
(documento firmato digitalmente)

GIOVANNI RIDOLFI
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
01.04.2025 12:09:32 UTC

Figura 15: Parere positivo del CERA

Per garantire continuità e coerenza metodologica alla sperimentazione, presso il Dipartimento di Architettura e Design dell'Università di Genova è stato istituito il gruppo di ricerca DIANA (Design, Intelligenza Artificiale e Nautica)²²²³.

DIANA è un team multidisciplinare (ingegneria, neuroscienze, antropologia, architettura e design) orientato a esplorare come l'intelligenza artificiale possa supportare la comprensione dell'esperienza utente e abilitare applicazioni nautiche più human-centred, affidabili e responsabili.

Il gruppo si propone di sviluppare e validare approcci di design che integrino strumenti di AI con l'analisi della dimensione emotiva e psicofisiologica dell'esperienza di bordo, definendo linee di ricerca riconducibili a un *emotional-enhanced design* come direzione metodologica.

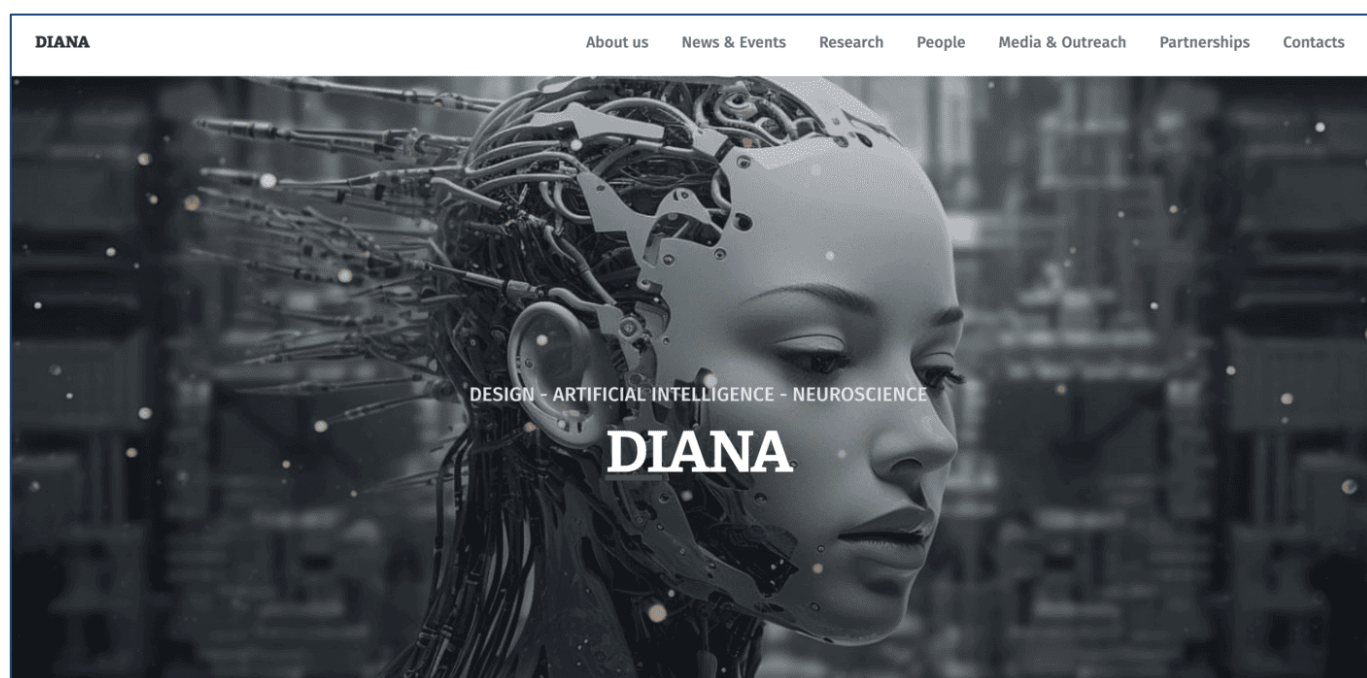


Figura 16: Il sito del gruppo di ricerca DIANA

Attualmente DIANA (Figura 16) sviluppa un programma di lavoro articolato in quattro fasi:

- definizione dei requisiti utente mediante interviste condotte da avatar virtuali e intervistatori umani, integrate con analisi multimodale dei dati;
- analisi di mercato nel settore nautico mediante strumenti di AI (ad es. raccolta e sintesi di dati pubblici e competitor analysis);
- generazione di concept assistita da strumenti di Generative AI;
- validazione in ambiente immersivo con sensori biometrici per rilevare indicatori affettivi e di carico cognitivo.

²² <https://architettura.unige.it/diana>

²³ <https://manifest-group-diana.netlify.app/>

Il gruppo collabora con cantieri, progettisti e centri di ricerca (ad es. CETENA e Fondazione Accademia della Marina Mercantile di Genova), a conferma della natura interdisciplinare del programma (ingegneria navale, interazione uomo-macchina, neuroscienze e scienze sociali).

5.4. Conclusioni e implicazioni sociali

L'integrazione di AI affettiva nel design nautico apre scenari di innovazione rilevanti, ma introduce anche responsabilità etiche e sociali. In sintesi, è necessario garantire che tali tecnologie restino antropocentriche, tutelando diritti, autonomia e dignità della persona: trasparenza, giustizia, accountability e supervisione umana devono rimanere principi guida. In questo quadro, il progettista non è un esecutore di output algoritmici, ma il regista consapevole dell'ecosistema di design: decide se, come e quando utilizzare indicatori affettivi e psicofisiologici per orientare soluzioni che siano significative, sicure e accettabili.

In conclusione, il design emotivamente adattivo richiede un equilibrio tra trasparenza, controllo umano e responsabilità. I risultati di questa tesi mostrano come il paradigma Designer in the Loop consenta di amplificare la creatività e la capacità decisionale del progettista attraverso dati ed evidenze, senza delegare il controllo alle macchine. La figura del designer è quindi chiamata a evolvere: non solo creatore di forma, ma garante dei valori umani nelle scelte tecnico-sociali. Guardando al futuro, il settore nautico dovrà sviluppare linee guida condivise e forme di governance partecipativa, coinvolgendo competenze di etica, diritto e scienze sociali, affinché l'innovazione resti coerente con la centralità umana e contribuisca al benessere collettivo.

La Parte II della tesi presenta i casi sperimentali e il modello operativo sviluppato per applicare questi principi nel progetto DIANA, dove l'AI diventa strumento empatico e collaborativo a supporto del design nautico.

6. Sperimentazioni progettuali e strumenti sviluppati durante la ricerca

6.1. Ruolo e obiettivi del capitolo

Il capitolo raccoglie e organizza in modo sistematico le sperimentazioni condotte durante il dottorato — strumenti, protocolli, output e risultati — con l’obiettivo di discutere come esse contribuiscano alla definizione e alla verifica operativa del paradigma *Designer in the Loop* nel design navale e nautico.

A differenza dei capitoli precedenti, dedicati all’inquadramento teorico, metodologico e normativo, il Capitolo 6 costituisce il nucleo empirico della tesi, in cui i concetti introdotti vengono messi alla prova attraverso applicazioni concrete, prototipi sperimentali e casi di studio in contesti reali, inclusi ambiti formativi, operativi e *safety-critical* (intesi come contesti ad alta responsabilità operativa).

Le sperimentazioni non sono intese come una semplice fase applicativa, ma come fondamento epistemico della ricerca. In coerenza con l’approccio di *Research through Design*, il paradigma *Designer in the Loop* non è stato definito a priori, bensì è emerso progressivamente dall’osservazione di comportamenti, reazioni emotive e dinamiche decisionali osservate nel corso delle attività sperimentali. Le applicazioni presentate vanno pertanto lette come momenti di consolidamento empirico del metodo stesso.

Gli strumenti sviluppati — dai sistemi di supporto alla raccolta dei requisiti agli ecosistemi multi-agente e alle applicazioni in ambito *safety-critical* — non sono proposti come soluzioni definitive o prodotti commerciali, ma come dispositivi sperimentali finalizzati a osservare, testare e affinare l’interazione tra progettista e sistemi di intelligenza artificiale. In questo senso, la descrizione dei tool assume valore scientifico, rendendo espliciti il processo di ricerca, le scelte progettuali e le trasformazioni metodologiche intervenute nel tempo (Figura 17).

Il termine *validazione* è qui inteso non in senso esclusivamente quantitativo o ingegneristico, ma come verifica progettuale e metodologica, coerente con la natura esplorativa e iterativa del design. Essa avviene attraverso l’analisi comparata delle sperimentazioni, valutando la capacità dell’AI di supportare il processo decisionale del designer senza sostituirne il ruolo interpretativo, critico e responsabile.

Il capitolo è articolato in cinque blocchi principali (A–E). Dopo una breve introduzione metodologica, il Blocco A affronta gli strumenti per l’individuazione e l’interpretazione degli user requirements; il Blocco B analizza applicazioni orientate alla generazione e valutazione di alternative

progettuali; il Blocco C introduce ecosistemi integrati e pipeline multi-step; il Blocco D presenta sperimentazioni in contesti reali e safety-critical; infine, il Blocco E propone una sintesi trasversale dei risultati, discutendo limiti e condizioni di trasferibilità del paradigma Designer in the Loop.

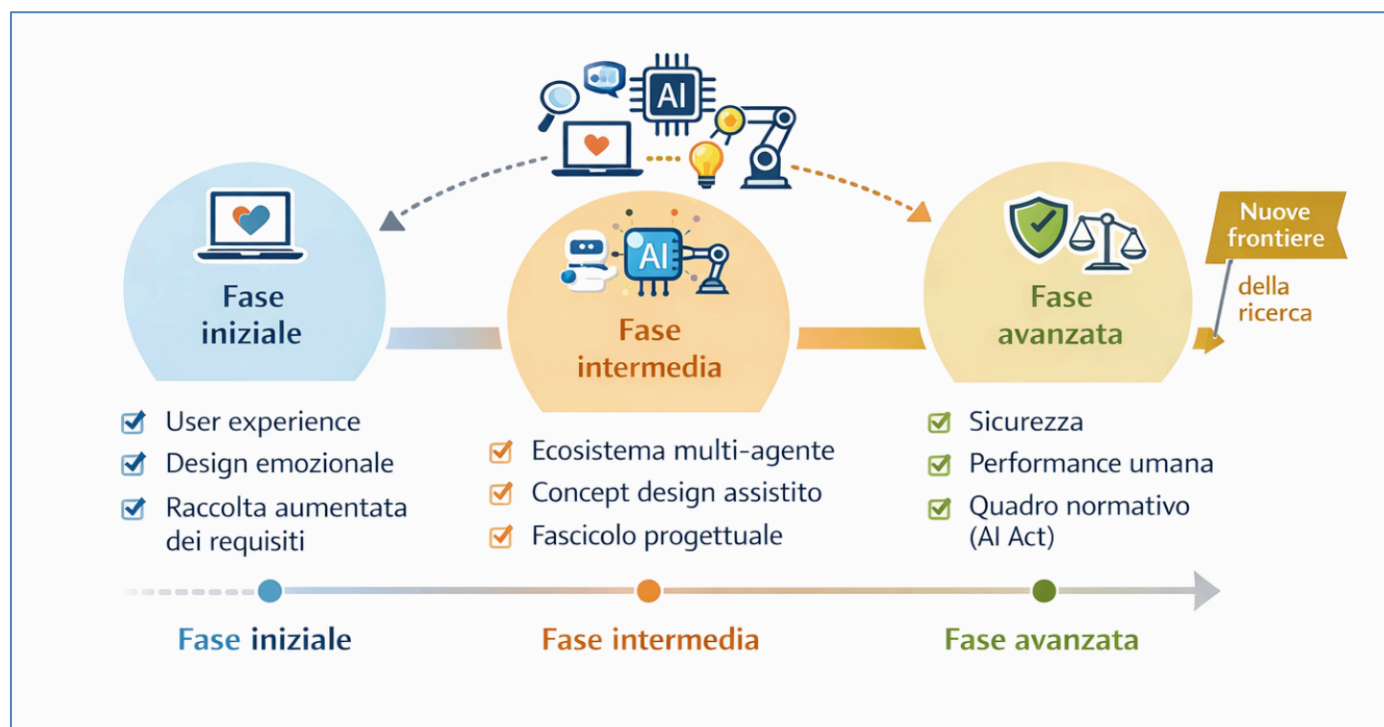


Figura 17: Evoluzione delle sperimentazioni

6.2. Impostazione metodologica delle sperimentazioni

Le sperimentazioni presentate nel Capitolo 6 sono state condotte secondo un'impostazione metodologica coerente e progressiva, sviluppata nel corso dei tre anni di ricerca e finalizzata alla verifica operativa del paradigma Designer in the Loop nel contesto del design navale e nautico.

Ciascuna applicazione si fonda su una struttura ricorrente che integra: osservazione del contesto, raccolta multimodale dei dati (verbali, emotivi e comportamentali), interpretazione supportata dall'intelligenza artificiale e validazione triangolata attraverso il confronto tra percezione umana, output algoritmico e valutazione esperta. Questa sezione non introduce nuovi riferimenti teorici, già discussi nei capitoli precedenti, ma definisce il quadro operativo adottato per analizzare e confrontare in modo omogeneo le diverse sperimentazioni.

L'approccio metodologico integra principi del *Design Thinking* e del *Research through Design*, all'interno dei quali si innesta il paradigma *Designer in the Loop* come principio guida. Il *Design Thinking* fornisce l'ossatura processuale (*empathize–define–ideate–prototype–test*), mentre l'intelligenza artificiale è impiegata come supporto cognitivo, analitico o generativo in specifiche fasi del processo, senza mai sostituire la decisione progettuale. Il progettista mantiene il controllo umano sulle scelte chiave, assumendo il ruolo di interprete critico e responsabile degli output prodotti dai sistemi di AI.

Al fine di rendere confrontabili le diverse sperimentazioni, è stato definito un mapping esplicito tra le fasi del processo progettuale e gli strumenti sviluppati nel corso della ricerca al fine di consentire una lettura trasversale e comparabile. In particolare, gli strumenti per l'intervista e la raccolta dei dati qualitativi si collocano nelle fasi di *empathize* e *define*; i sistemi generativi e gli ecosistemi multi-agente operano prevalentemente nelle fasi di *ideate* e *prototype*; le applicazioni in contesti reali e safety-critical contribuiscono infine alle fasi di *test* e *validate*. La Figura 18 sintetizza tale corrispondenza, offrendo una lettura trasversale del percorso sperimentale.

Fase del Design Thinking	Sperimentazioni nel dottorato
 Empathize	✓ Interviste aumentate e interpretazione dei dati user-centered
 Define	✓ Definizione della persona e benchmark di mercato ✓ Ecosistema multi-agente per il concept design assistito
 Ideate	✓ Ecosistema multi-agente per il concept design assistito ✓ Fascicolo progettuale per la tracciabilità del processo
 Prototype e Test	✓ Applicazione del metodo in contesti safety-critical: il caso On Watch ✓ Integrazione del Machine Learning nella progettazione dello scafo
 Validate	✓ Sintesi delle sperimentazioni e validazione del metodo

Figura 18: Mapping tra fasi del Design Thinking e sperimentazioni del dottorato

La validazione delle sperimentazioni non è condotta attraverso metriche puramente quantitative, ma mediante criteri qualitativi e progettuali coerenti con l'approccio di *Research through Design*. In particolare, l'analisi si concentra su:

- il grado di supporto offerto dall'AI al processo decisionale del designer;
- la capacità degli strumenti di ridurre la complessità informativa e cognitiva;
- la trasparenza e la tracciabilità del processo progettuale;
- il mantenimento del controllo umano nelle scelte progettuali;
- l'adattabilità del metodo a contesti e scale differenti.

Ciascuna sperimentazione è pertanto letta come un caso di studio che contribuisce alla validazione progressiva del paradigma Designer in the Loop, mettendone in evidenza punti di forza, limiti e potenzialità di sviluppo. Il metodo viene così interpretato non come un sistema statico, ma come un framework dinamico, capace di evolvere in relazione ai contesti applicativi e agli strumenti utilizzati.

Blocco A – Strumenti per l'individuazione degli user requirements

Secondo la filosofia del *Design Thinking*, quando si inizia un nuovo progetto di design, che si tratti di un'imbarcazione, di un prodotto o di un servizio, il primo passo fondamentale è comprendere davvero le persone per cui stiamo progettando. Per questo è necessario partire con l'analisi dei requisiti, una fase che non consiste semplicemente nel raccogliere ciò che l'utente chiede esplicitamente, ma nel capire ciò di cui ha effettivamente bisogno.

Interviste, osservazioni, incontri di approfondimento permettono al designer di ricostruire bisogni funzionali, estetici ed emotivi, e di individuare vincoli o aspettative spesso non dette, ma necessitano di molto tempo e di una elaborazione dei dati accurata.

Una volta raccolte queste informazioni, si passa alla fase successiva: la creazione delle *User Personas*. Questo passaggio è essenziale perché ci permette di trasformare dati sparsi in figure concrete e riconoscibili. Vengono creati personaggi-tipo che rappresentano gli utenti reali: hanno obiettivi, comportamenti, frustrazioni e desideri.

Questa trasformazione è cruciale perché ci dà un riferimento stabile: d'ora in poi, ogni scelta progettuale verrà valutata chiedendoci "Funziona per questa persona? Risponde ai suoi bisogni?".

Quando le persone e i loro obiettivi sono chiari, si sposta l'attenzione verso il contesto competitivo: cioè viene fatta un'attenta analisi dei competitor e di come il prodotto potrebbe posizionarsi sul mercato.

Questo passo non serve per imitare ciò che già esiste, ma per capire dove è possibile inserire un valore nuovo. Per questo motivo vengono studiati i prodotti attualmente sul mercato, si identificano i loro punti di forza e di debolezza, si scopre cosa funziona, cosa manca e quali opportunità è possibile cogliere.

La combinazione di bisogni degli utenti e mappa del mercato crea un terreno fertile per la fase successiva.

A questo punto si è pronti per la generazione del concetto. È un momento creativo, in cui si lasciano emergere molte idee senza giudizio. Brainstorming, schizzi, mappe di idee aiutano a esplorare possibilità anche molto diverse tra loro.

Il passaggio chiave qui è che non si sta ancora scegliendo la soluzione, ma si esplora lo spazio delle soluzioni. Solo dopo una prima produzione di concept, questi vengono analizzati alla luce dei requisiti e delle *personas* sviluppate in precedenza, cercando un equilibrio tra desiderabilità, fattibilità e sostenibilità.

Definito il concept, si entra nella fase di prototipizzazione.

È qui che le idee prendono forma. È possibile creare schizzi più accurati, modelli 3D, mockup fisici o digitali. Il prototipo non è ancora il prodotto finale, ma è abbastanza concreto da permettere alle persone di interagire con esso. La prototipizzazione ha un ruolo fondamentale: rende l'idea tangibile e, soprattutto, permette di sbagliare, ma di correggere subito.

Infine, si arriva alla fase di test.

Qui si torna dagli utenti, che diventano perfetti collaboratori in quanto è possibile osservare come interagiscono con il prototipo, quali difficoltà incontrano, cosa trovano intuitivo, cosa invece andrebbe ripensato.

Grazie a questo feedback, il ciclo ricomincia: si ritorna ai requisiti, viene corretto il concept, vengono riprogettate parti del prototipo.

È un processo iterativo, che avvicina progressivamente la soluzione al vero valore per l'utente. In questo percorso, ogni fase prepara naturalmente quella successiva. I requisiti alimentano le *personas*, che orientano l'analisi del mercato, che apre spazio alla generazione del concept, che prende forma tramite la prototipizzazione, che può essere validata nel test con gli utenti.

Un flusso continuo in cui si impara, si adatta e si migliora fino ad arrivare a una soluzione che sia davvero significativa.

Questo capitolo descrive le implementazioni sperimentali sviluppate nel corso della ricerca di dottorato, con l'obiettivo di verificarne l'efficacia e l'applicabilità al contesto del design navale e nautico.

Le sperimentazioni hanno perseguito tre finalità principali:

- *Creazione di applicazioni per il progettista*, utili per catturare in modo integrato le reazioni emotive e cognitive degli utenti;
- *Generazione e ottimizzazione dei concept progettuali*, sfruttando le potenzialità della Generative AI e dei modelli predittivi;
- *Validazione delle soluzioni*, mediante simulazioni avanzate e ambienti immersivi in grado di anticipare l'esperienza reale di bordo.

Tali esperimenti hanno progressivamente consolidato un metodo di lavoro ibrido, in cui progettista, utente e intelligenza artificiale collaborano in un ciclo iterativo di apprendimento reciproco.

6.3. Gli User Requirements

Come già affermato nei capitoli precedenti, indipendentemente dall'approccio progettuale adottato (spirale di progettazione, V-model, ...), il punto di partenza per lo sviluppo di una nuova imbarcazione

richiede innanzitutto di chiarire chi è il committente e a quale scopo sarà destinata l'unità, poiché da queste due variabili discendono priorità, vincoli e criteri progettuali.

Come sintetizzato in Tabella 10, la natura del committente (cantiere vs armatore privato) condiziona immediatamente priorità e vincoli di progetto.

Un armatore privato generalmente ha chiaro lo scopo per cui desidera l'imbarcazione (crociera, regata, pesca, sport acquatici, trasporto, ...). Il budget viene controllato, ma non rappresenta l'unico criterio decisionale perché spesso la barca viene vissuta come "l'imbarcazione dei sogni" e pertanto si privilegiano le scelte di comfort, estetica e personalizzazione.

L'armatore affronterà in prima persona i problemi derivanti dalla gestione dell'unità, ma non sempre disporrà delle competenze tecniche necessarie per risolverli in autonomia. Spesso richiederà particolare attenzione a dettagli e finiture che, per un cantiere, hanno importanza secondaria.

Nel caso di un cantiere navale, invece, l'obiettivo che si persegue è prevalentemente economico: massimizzare il guadagno e ridurre i costi di produzione e standardizzare le linee produttive.

L'armatore finale ha margini di personalizzazione molto limitati, concessi solo per piccole modifiche, mentre il cantiere dispone di un ufficio tecnico interno, in grado di fornire al progettista specifiche tecniche precise, garantendo così un processo progettuale più lineare e controllato.

Queste differenze influenzano in modo determinante le scelte del progettista, sia nella fase concettuale sia nelle fasi successive.

Tabella 10: Caratteristiche del committente di progetto

ARMATORE PRIVATO	CANTIERE
Ha chiaro lo scopo (crociera, regata, pesca, trasporto, sport acquatici, ...).	Mira a massimizzare il profitto riducendo costi e tempi di produzione.
Controlla la spesa, ma privilegia la personalizzazione e l'estetica.	Standardizza la produzione con margini di personalizzazione limitati.
Affronterà direttamente i problemi di gestione dell'imbarcazione.	Dispone di un ufficio tecnico che fornisce specifiche precise.

Una volta identificato il tipo di committente, il passo successivo è quello di definire quale sia lo scopo principale dell'imbarcazione, i requisiti irrinunciabili del futuro proprietario, i vincoli tecnici e regolamentari da rispettare.

In Figura 19 sono state riportate alcune delle domande tipiche che vengono poste al cliente in questa fase che vanno a delineare gli *user requirements* e la creazione della *User Persona*.

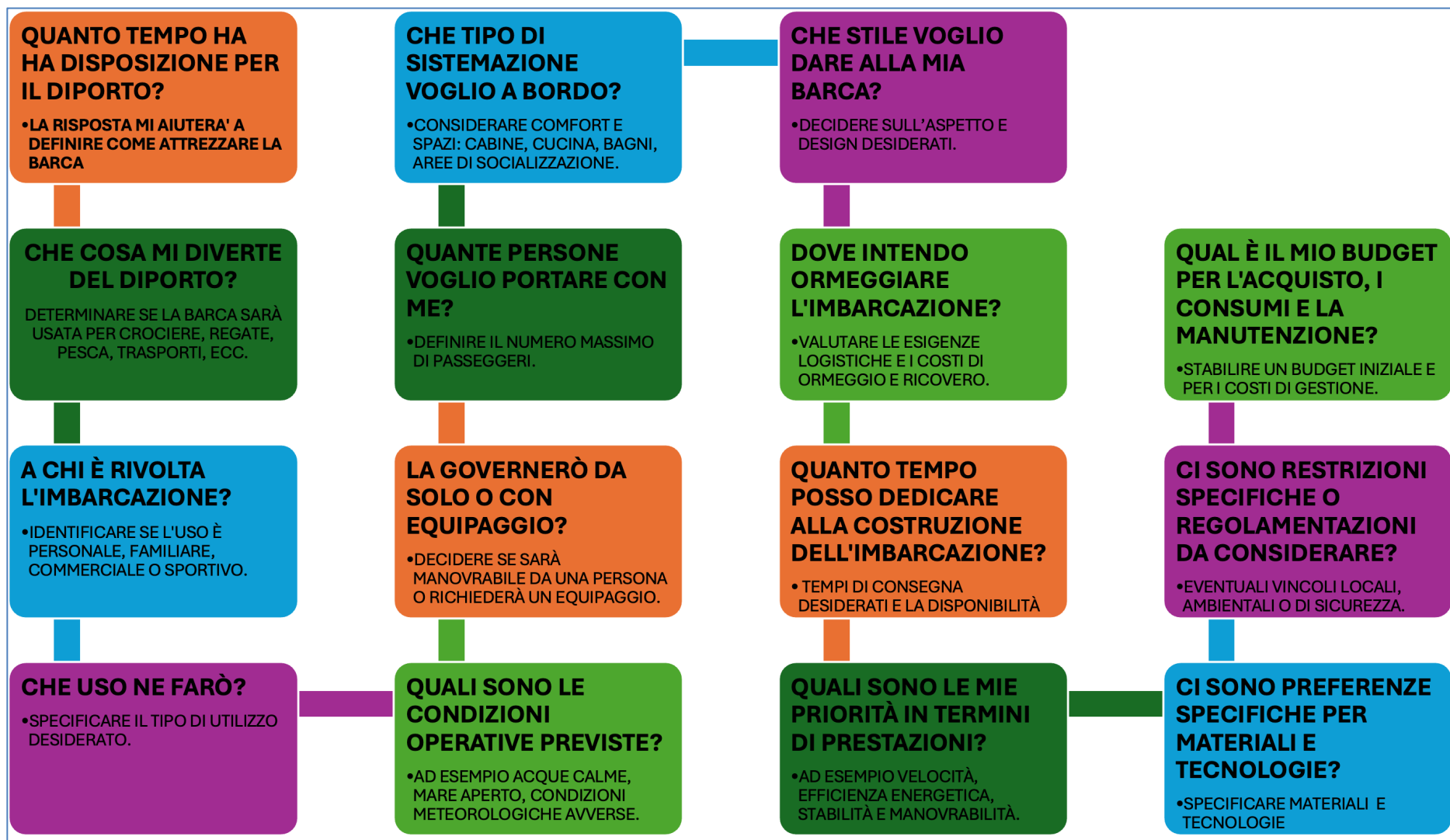


Figura 19: Esempio di domande da intervista per determinare gli user requirements

Quando un progettista incontra il suo committente, le prime domande servono soprattutto a delineare un quadro chiaro delle esigenze e delle abitudini di chi userà l'imbarcazione.

Si parte dal chiedere quanto tempo il cliente potrà dedicare alla barca. Chi dispone di poco tempo richiederà soluzioni pratiche, a bassa manutenzione, con sistemi di ormeggio e pulizia semplici e un'imbarcazione pronta a salpare in pochi minuti; al contrario, chi può trascorrere lunghe permanenze a bordo può orientarsi verso dotazioni più complesse e personalizzazioni pensate per il comfort, come cabine accoglienti, cucine attrezzate, spazi per la socializzazione e sistemi multimediali.

Un altro aspetto fondamentale riguarda ciò che diverte realmente il cliente in ambito di diporto. Le esigenze cambiano radicalmente a seconda che la barca sia destinata alla crociera, alle regate, alla pesca, al trasporto o agli sport acquatici. Un appassionato di regate richiederà un'imbarcazione ottimizzata per le prestazioni, con un design orientato alla velocità, materiali leggeri e tecnologie avanzate per migliorare aerodinamica e idrodinamica. Chi preferisce la crociera cercherà invece comfort e abitabilità, con spazi ampi, stabilità, sicurezza e materiali duraturi, anche a costo di aumentare il peso dell'imbarcazione. Il pescatore avrà bisogno di spazi dedicati alle attrezzature, serbatoi per il pescato e una stabilità che consenta di operare in comodità, mentre chi pratica sport acquatici, come lo sci nautico, richiederà una potenza adeguata, spazi per l'attrezzatura e un accesso all'acqua facilitato.

Il progettista deve poi comprendere a chi sarà destinata l'imbarcazione: ad uso personale, familiare, commerciale o sportivo, perché questo orienta scelte importanti sull'organizzazione degli spazi, sui sistemi di sicurezza e sui requisiti normativi. Anche la finalità generale dell'imbarcazione, che si tratti di un *daysailer*, di un *cruiser*, di un'imbarcazione da lavoro o da *charter*, influisce sulle scelte progettuali, così come il livello di comfort richiesto: numero di cabine, cucina, bagni e aree per la socializzazione, sia interne sia esterne.

Anche il luogo di ormeggio è un elemento strutturale del progetto: le limitazioni del porto, i costi e le esigenze logistiche influenzano direttamente scelta delle dimensioni e del pescaggio. Lo stesso vale per il tempo che il cliente può attendere per la costruzione, che può variare da un progetto artigianale e personalizzato a una consegna più rapida.

Il budget complessivo, che comprende acquisto, consumi e manutenzione, rappresenta un vincolo costante, così come l'eventuale presenza di restrizioni regolamentari, vincoli ambientali o norme locali di navigazione che impongono specifiche certificazioni. Inoltre, conoscere le condizioni operative — mare calmo o aperto, uso stagionale o annuale, eventuali meteo avversi — permette di definire robustezza, autonomia e affidabilità della barca. A tutto questo si aggiungono le priorità prestazionali, che possono privilegiare velocità, efficienza energetica, stabilità o manovrabilità, e le preferenze sui

materiali e sulle tecnologie, dal legno all'alluminio, dal GRP ai compositi avanzati, fino a sistemi innovativi come propulsioni ibride o elettriche e automazioni di bordo. Infine, lo stile estetico — classico, moderno o sportivo — contribuisce a definire l'identità visiva dell'imbarcazione, riflettendo i gusti e la personalità del cliente.

L'esito di tale fase preliminare è la costruzione di una specifica iniziale che integra requisiti funzionali, estetici ed esperienziali. In questa tesi, tale fase viene ulteriormente arricchita mediante strumenti in grado di intercettare segnali paraverbali e componenti emotive, con l'obiettivo di supportare il progettista nella lettura delle risposte e nella riduzione delle ambiguità interpretative.

Qui di seguito verranno riportate alcune delle web app create e l'analisi dei relativi risultati ottenuti.

6.4. Strumenti per l'individuazione degli user requirements.

Nel corso dei tre anni di dottorato sono stati sviluppati e sperimentati diversi strumenti basati su intelligenza artificiale, progettati per supportare la raccolta, l'organizzazione e la prima elaborazione dei dati qualitativi. Tali strumenti non sono stati concepiti come alternative al progettista, bensì come supporti cognitivi in grado di affiancare il designer nella comprensione dei bisogni degli utenti e nella traduzione di tali bisogni in requisiti progettuali strutturati.

L'evoluzione degli strumenti presentati in questa sezione riflette il percorso di maturazione della ricerca, passando da soluzioni esplorative e puntuali a sistemi progressivamente più integrati nel processo progettuale.

Gli strumenti presentati in questo blocco non devono essere intesi come semplici interfacce di supporto alla raccolta dei requisiti, ma come dispositivi epistemici che ampliano la capacità del progettista di osservare e interpretare dimensioni normalmente implicite dell'esperienza dell'utente. In particolare, l'analisi delle reazioni emotive e dei segnali paraverbali consente di intercettare discrepanze tra ciò che l'utente dichiara e ciò che effettivamente percepisce, offrendo un livello di comprensione difficilmente raggiungibile attraverso l'intervista tradizionale.

6.4.1. Interview with a Chatbot

Per superare la necessità di una presenza simultanea del progettista e del cliente durante la fase di raccolta dei requisiti, è stata sviluppata un'applicazione web basata su intelligenza artificiale denominata *Interview with a Chatbot* (Figura 20). Lo strumento è stato concepito come sistema conversazionale in grado di automatizzare l'intervista preliminare, trasformandola in un'esperienza interattiva, strutturata e accessibile anche in assenza del designer.

L'obiettivo principale della chatbot è facilitare l'espressione dei bisogni, delle preferenze e dei vincoli del cliente in modo naturale e guidato, riducendo ambiguità e fraintendimenti tipici della comunicazione non strutturata. Attraverso un'interfaccia semplice e intuitiva, il sistema accompagna l'utente lungo un percorso di domande dinamiche, derivate da una checklist progettuale, che copre aspetti funzionali, estetici e tecnici dell'imbarcazione. Le domande riguardano, tra gli altri, l'uso previsto, il numero di passeggeri, i materiali, le prestazioni desiderate, il budget e i vincoli temporali.

AI Interview - Diporto
designer in the loop

Progress

Tempo Diporto	Poche ore a settimana
Sistemazione Bordo	Zona lavoro/pesca, Cabina ospiti
Stile	Classico/Elegante
Divertimento	Crociere, Regate
Passeggeri	Fino a 8
Ormeggio	Carrello/trailer
Budget	100k
Destinatari	Uso personale
Governo	In coppia

Pronta subito/stock

Ci sono restrizioni o regolamentazioni da considerare?

nessuno

Che uso ne farà?

Lunghe crociere

Quali sono le condizioni operative previste? Acque calme, mare aperto, meteo avverso...

Mare aperto, Lungo costa, Meteo variabile

Quali sono le priorità di prestazione? Velocità, efficienza, stabilità, manovrabilità...

Silenziosità, Manovrabilità

Reset Export JSON

Figura 20: Interview with a Chatbot

Rispetto ai moduli statici tradizionali, la chatbot introduce una modalità di interazione più coinvolgente e progressiva, che consente di raccogliere dati coerenti e completi riducendo gli errori di compilazione. Ogni risposta viene validata in tempo reale e resa immediatamente visibile all'utente attraverso un'anteprima laterale, garantendo trasparenza e controllo sull'intero processo di compilazione.

Al termine della conversazione, il sistema genera automaticamente un brief strutturato, restituito in due forme complementari:

- una sintesi testuale leggibile, che evidenzia i principali elementi emersi (uso, stile, priorità, materiali, budget, vincoli, tempistiche);
- un file *JSON* esportabile, contenente l'insieme delle risposte e dei relativi metadati, pensato per l'integrazione con strumenti digitali successivi e per la definizione del concept di progetto (Figura 21).

L'adozione di un formato strutturato consente al team di progettazione di riutilizzare i dati raccolti in modo efficiente, facilitando il passaggio dalla fase di raccolta dei requisiti alle prime attività di concept design. L'architettura modulare della chatbot rende il sistema scalabile e facilmente aggiornabile: la base di domande e la logica di profilazione possono essere ampliate o modificate senza intervenire sulla struttura generale, permettendo allo strumento di adattarsi a contesti professionali e didattici differenti.

Dal punto di vista della validazione, la sperimentazione ha evidenziato un buon livello di accettazione da parte dei progettisti coinvolti, in particolare per quanto riguarda la prima scrematura dei dati iniziali del cliente, quali età, dati anagrafici, destinazione d'uso dell'imbarcazione e profilo dei potenziali fruitori.

Tuttavia, lo strumento è risultato meno efficace nella raccolta di informazioni legate alle preferenze estetiche e alle esigenze più articolate di utenti poco inclini alla compilazione testuale, che manifestano una maggiore propensione al dialogo diretto con un interlocutore umano.

```
Users > laurapagani > Downloads > profilo_diporto.json > ...
1  {
2    "archetipi_suggeriti": [
3      "Eco-Tech Oriented",
4      "Cruiser Familiare"
5    ],
6    "uso_principale": "Lunghe crociere",
7    "destinatari": "Uso personale",
8    "passengeri": "Fino a 8",
9    "stile": "Classico/Elegante",
10   "sistemazione": [
11     "Zona lavoro/pesca",
12     "Cabina ospiti"
13   ],
14   "ormeggio": "Carrello/trailer",
15   "priorita_prestazioni": [
16     "Silenziosità",
17     "Manovrabilità"
18   ],
19   "condizioni": [
20     "Mare aperto",
21     "Lungo costa",
22     "Meteo variabile"
23   ],
24   "materiali_tech": [
25     "Propulsione elettrica/ibrida",
26     "Ibrido/Eco",
27     "Legno"
28   ],
29   "budget_note": "100k",
30   "restrizioni": "nessuno",
31   "tempo_costruzione": "Pronta subito/stock",
32   "tempo_diporto": "Poche ore a settimana"
33 }
```

Figura 21: Esempio di file JSON prodotto al termine dell'intervista con il chatbot

Queste criticità hanno messo in evidenza i limiti di un approccio basato esclusivamente su interazioni testuali guidate e hanno costituito un elemento chiave per l'evoluzione successiva della ricerca verso strumenti di intervista più flessibili e dialogici. In questo senso, *Interview with a Chatbot* rappresenta una prima sperimentazione esplorativa, utile a definire i requisiti funzionali e metodologici degli strumenti sviluppati nelle fasi successive, mantenendo il designer nel ruolo di interprete e validatore finale delle informazioni raccolte.

6.4.2. Conversational AI Agent

Un ulteriore sviluppo della ricerca è rappresentato dalla progettazione di un *Conversational AI Agent* sviluppato mediante la piattaforma ElevenLabs. Lo strumento introduce una modalità di raccolta requisiti basata su interazione conversazionale, non vincolata a una sequenza rigida di domande, ma guidata da obiettivi e temi definiti dal progettista e forniti come knowledge base all'agente.²⁴ (Figura 22).

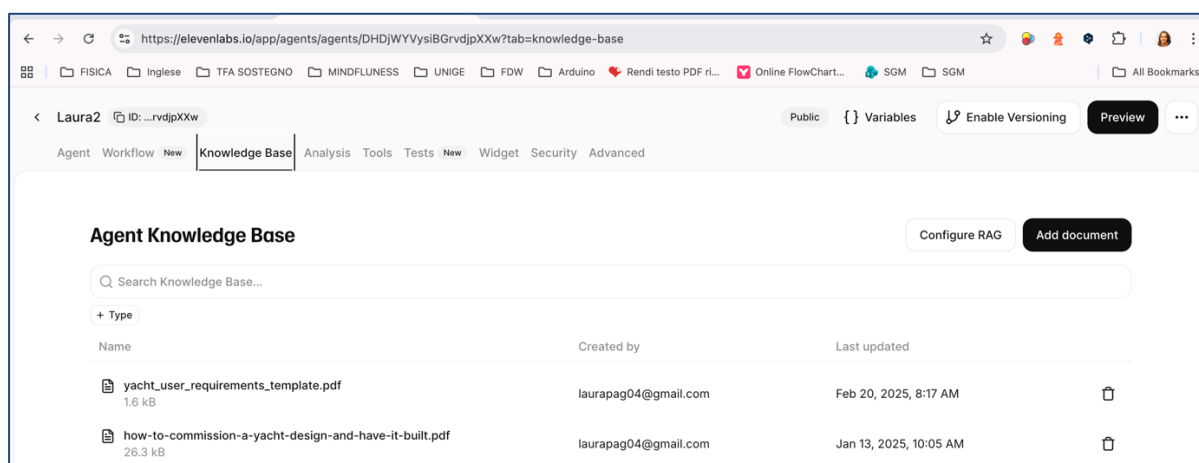


Figura 22: Interfaccia di Elevenlabs per la creazione dell'Agente Conversazionale

A differenza di un questionario strutturato o di una chatbot a script, l'agente è configurato tramite istruzioni contestuali che definiscono: registro comunicativo (ad es. formale o neutro), temi da coprire (uso previsto dell'imbarcazione, esperienze pregresse, preferenze estetiche, priorità funzionali), obiettivi dell'intervista e livello di dettaglio atteso. L'interazione avviene tramite voce sintetica, con caratteristiche prosodiche pensate per rendere il dialogo più naturale e per favorire risposte articolate, in particolare quando l'utente tende a fornire input poco strutturati in forma scritta.

Durante la conversazione, l'agente può porre domande aperte, richiedere chiarimenti, riformulare i contenuti per verificare la comprensione e approfondire aspetti ambigui, adattando il percorso dell'intervista in funzione delle risposte. L'intervista è eseguibile in più

²⁴ <https://elevenlabs.io/>

lingue e con diversi stili vocali, così da adattarsi a profili comunicativi e contesti culturali differenti.

Al termine della sessione, il sistema produce output strutturati utili alla fase *empathize/define*, tra cui:

- trascrizione completa,
- sintesi dei punti salienti,
- una stima automatica del tono generale della conversazione (sentiment/atteggiamento) e
- un report organizzato in requisiti e preferenze (specifiche tecniche, priorità funzionali, elementi estetici ricorrenti).

Tali output vengono successivamente utilizzati come input per un modulo/agente di supporto alla profilazione, finalizzato a generare una *User Persona* e a verificare, nelle fasi successive del workflow, la coerenza tra le scelte progettuali e i requisiti iniziali emersi (Figura 23).

USER PERSONA



NOME Marco Rinaldi
ETÀ 52 anni
OCCUPAZIONE Imprenditore nel settore tecnologico
NAZIONALITÀ Italiana
STATO CIVILE Sposato con Elena, 48 anni
FIGLI Luca, 17 anni, Chiara, 13 anni

OBIETTIVI E MOTIVAZIONI

Vivere le vacanze estive nel Mediterraneo senza equipaggio, in famiglia

COMPORTAMENTI E STILE DI VITA

- Abituato a tecnologie per smart-home
- Ama sport acquatici, snorkeling
- Apprezza arredi minimal
- Viaggia evitando la folla
- Valorizza spazi esterni vivibili

ESIGENZE FUNZIONALI DELLO YACHT

- Suite armatoriale per lui e la moglie
- Cabine separate per i figli
- Zona notte dedicata per il cane
- Arredamento minimal
- Ampia zona pranzo esterna

Figura 23: Creazione della User Persona sulla base dell'intervista

Sul piano operativo, l'adozione dell'agente ha mostrato potenziali benefici in termini di standardizzazione e tracciabilità della fase di raccolta requisiti (ad es. disponibilità di trascrizioni, report comparabili e archiviabili), nonché una riduzione del carico organizzativo associato alla conduzione e alla documentazione delle interviste.

Al tempo stesso, l'interpretazione degli output (in particolare le stime di sentiment/atteggiamento) richiede cautela e validazione critica, poiché tali inferenze sono probabilistiche e sensibili a variabili contestuali (rumore, stile comunicativo individuale, differenze culturali).

L'approccio è stato testato in via preliminare su un campione limitato di utenti nell'ambito del progetto DIANA.

La dimensione del campione è stata vincolata dalla necessità di completare l'iter di valutazione etica e di adottare un protocollo conforme alla normativa sulla protezione dei dati (GDPR) e, ove applicabile, ai principi dell'AI Act, in particolare per quanto riguarda trasparenza, consenso e limitazione delle finalità.

In sintesi, il *Conversational AI Agent* è qui proposto come strumento di supporto alla fase di *user understanding*, utile a strutturare e rendere tracciabile l'informazione raccolta, mantenendo il designer nel ruolo di interprete e decisore finale.

6.4.3. Yacht Design Generator with AI

Un'ulteriore applicazione web sviluppata nel corso della ricerca è la *Yacht Design Generator with AI*, concepita per supportare il dialogo tra progettista e cliente durante le fasi iniziali di definizione del concept (**Error! Reference source not found.**).

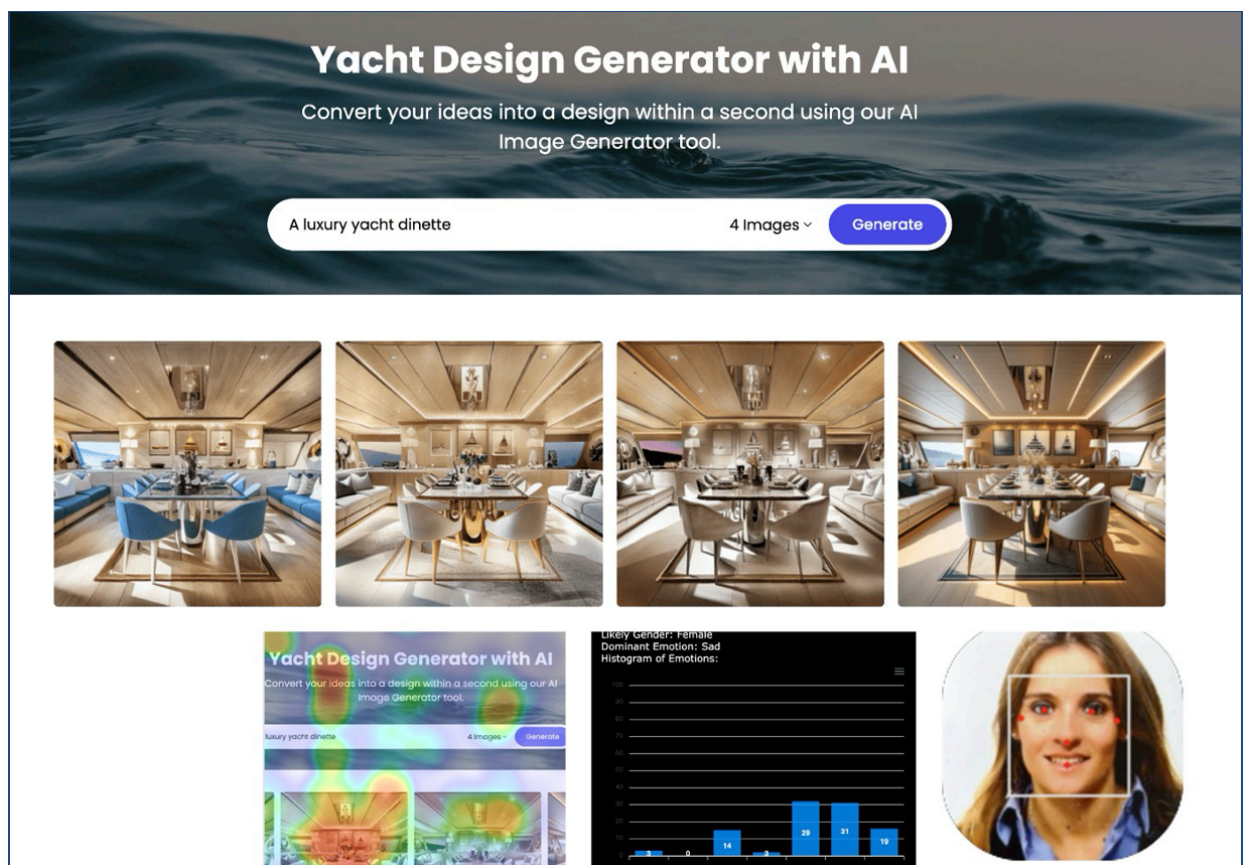


Figura 24: Yacht Design Generator with AI

L'applicazione prevede che designer e cliente svolgano l'intervista in modalità sincrona (videochiamata), integrando strumenti di generazione visiva con moduli di analisi automatica delle espressioni facciali in tempo reale.

L'avvio della sessione richiede l'abilitazione di telecamera e microfono, così da consentire al sistema di acquisire i flussi necessari all'analisi. Dal punto di vista implementativo, una prima versione è stata realizzata integrando API esterne (Morphcast, HumeAI, iMotions) e successivamente estesa con moduli proprietari in Python, basati su librerie open source (OpenCV, Dlib, TensorFlow/Keras) (Figura 25). L'analisi facciale è impostata come un problema di classificazione supervisionata mediante reti neurali convoluzionali (CNN), facendo riferimento a dataset ampiamente adottati nella letteratura (FER-2013, AffectNet, CK+), con l'obiettivo di migliorare la robustezza del riconoscimento in condizioni di ripresa variabili.

Durante l'interazione, il progettista dispone di un feedback visivo e numerico aggiornato in tempo reale, relativo alle classi emotive stimate dal sistema (rabbia, disgusto, paura, felicità, tristezza, sorpresa e neutro). Per ciascuna classe viene restituita una probabilità, aggiornata fotogramma per fotogramma e visualizzata tramite grafici a barre (Figura 25).

Tale feedback non intende sostituire l'interpretazione del progettista, ma fornire un supporto aggiuntivo e tracciabile per identificare passaggi della conversazione o proposte progettuali associati a segnali di engagement, perplessità o rifiuto.

In parallelo, un modulo di Generative AI produce una serie di immagini alternative a partire dai prompt definiti durante il colloquio, utilizzando modelli generativi basati su diffusione (ad es. Stable Diffusion, DALL-E) e, ove applicabile, generatori visuali affini (ad es. Midjourney). Le immagini risultanti sono intese come stimoli progettuali preliminari, utili a facilitare l'esplorazione delle preferenze del cliente e ad accelerare il confronto su atmosfere, stile e riferimenti formali, piuttosto che come soluzioni progettuali definitive.

In una fase successiva, l'applicazione è stata arricchita con un modulo di analisi dell'attenzione interattiva (*mouse tracking*) basato su *Region of Interest* (ROI) e heatmap. Attraverso OpenCV e Matplotlib vengono sovrapposte mappe termiche alle immagini visualizzate, evidenziando le aree di maggiore interazione/attenzione. La posizione del cursore e i tempi di permanenza sono registrati tramite listener JavaScript nell'interfaccia e successivamente aggregati in Python per la costruzione delle mappe. L'integrazione di tali indicatori consente di affiancare al feedback dichiarativo un ulteriore livello informativo sulle preferenze visive, utile a orientare revisioni e iterazioni di concept, fermo restando il ruolo del progettista nella lettura critica dei risultati.

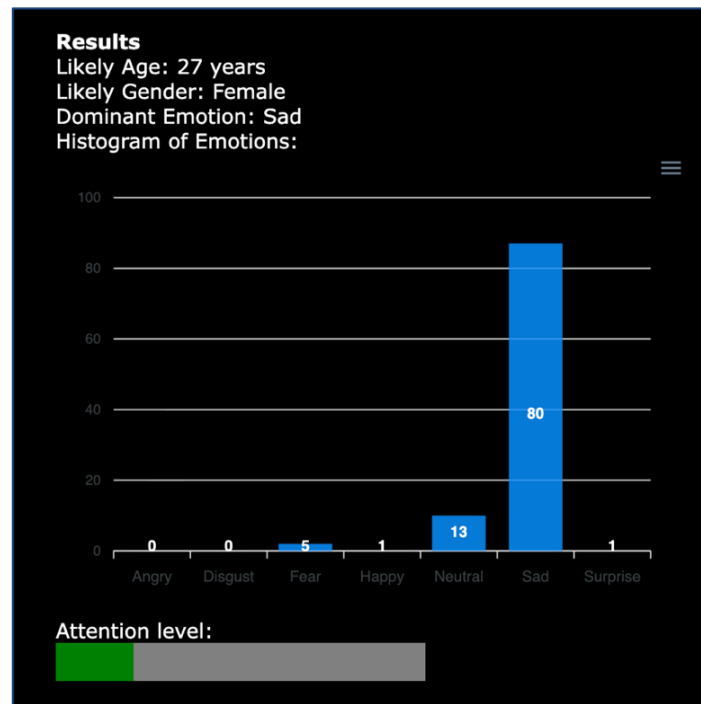


Figura 25: Emotion Detection con il software proprietario sviluppato

6.4.4. Interview App

L'interfaccia del Yacht Design Generator with AI è stata successivamente estesa nella Interview App²⁵, uno strumento sperimentale progettato per supportare in modo più strutturato il dialogo tra designer e armatore nelle fasi preliminari della progettazione di una nuova imbarcazione.

L'obiettivo principale dell'applicazione è integrare, in un'unica piattaforma, la visualizzazione dei concept progettuali (immagini, video, sketch) con l'analisi automatica delle risposte emotive e comportamentali del cliente, così da affiancare al feedback dichiarativo un ulteriore livello informativo a supporto del processo decisionale.

La Interview App è articolata in due interfacce distinte, corrispondenti ai ruoli coinvolti nel processo.

Dal lato designer, l'interfaccia combina lo streaming video del volto del cliente con una serie di visualizzazioni dinamiche generate dall'analisi multimodale delle emozioni (Figura 26).

I grafici a barre sintetizzano la distribuzione delle classi emotive stimate nel corso dell'interazione (ad esempio concentrazione, gioia, sorpresa), mentre una sezione dedicata (*Post Streaming Analysis Section*) consente di analizzare l'andamento temporale delle stime lungo la sessione. Sono disponibili diverse tipologie di rappresentazione grafica (line chart, radar

²⁵ <https://interviewapp-voyo.onrender.com/>

chart, bar chart, scatter chart), selezionabili in funzione delle esigenze analitiche e riassunte in Tabella 11.

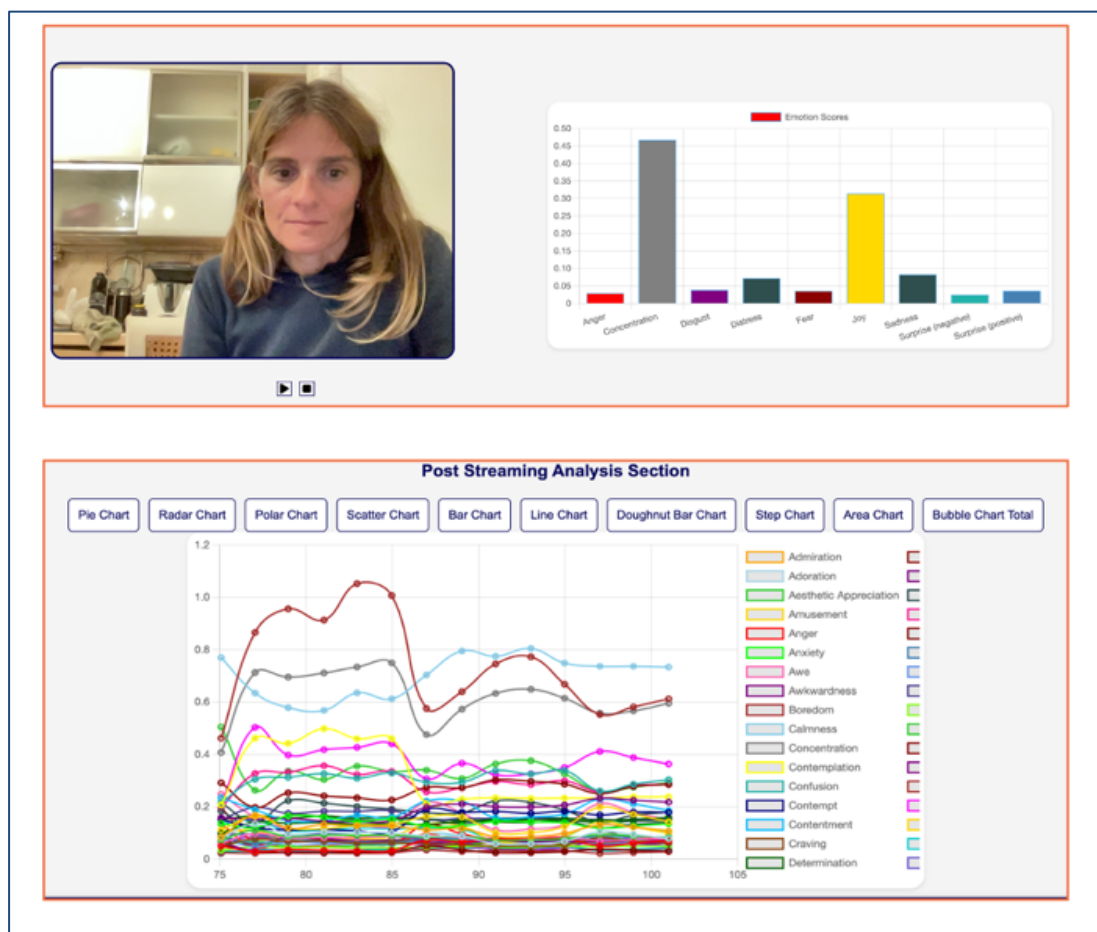


Figura 26: Screenshot dell'app lato designer

Dal lato cliente-armatore, l'interfaccia è invece orientata a una fruizione immersiva dei contenuti progettuali (Figura 27).

Il cliente visualizza render e video relativi agli interni e agli esterni dell'imbarcazione, mentre le sue reazioni audio e video vengono acquisite e analizzate in background, senza interferire con l'esperienza di fruizione. Questo assetto consente al progettista di osservare le reazioni del cliente in modo non intrusivo, preservando la naturalezza dell'interazione.

L'analisi delle espressioni facciali e delle caratteristiche vocali è realizzata mediante l'integrazione delle API di HumeAI, che restituiscono stime probabilistiche associate alle classi emotive rilevate. I risultati vengono automaticamente salvati in un file strutturato (*results.csv*), rendendo i dati disponibili per analisi successive, confronti longitudinali e integrazione con altri strumenti del sistema progettuale (Figura 28).

Tabella 11: Esempi di grafici visualizzabili

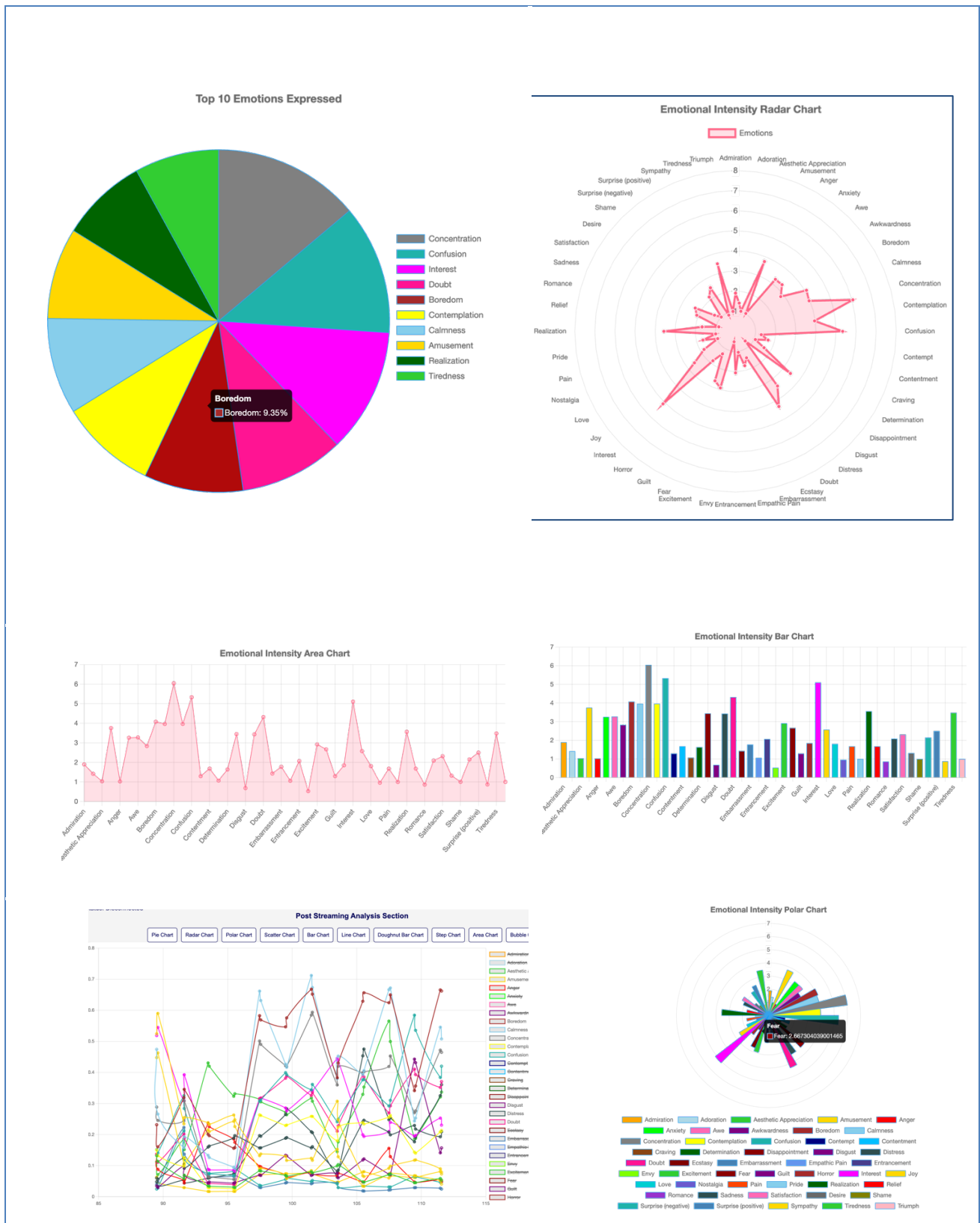




Figura 27: Screenshot dell'app lato cliente

In questo modo, la Interview App consente di affiancare al feedback verbale una lettura più articolata delle reazioni emotive e comportamentali del cliente. Tali informazioni non sono intese come indicatori deterministici, ma come segnali interpretativi che il designer può utilizzare per riflettere criticamente sulle soluzioni proposte, verificare ipotesi progettuali e orientare le iterazioni successive.

Nel complesso, la Interview App rappresenta un'evoluzione significativa rispetto agli strumenti precedenti, introducendo una modalità di interazione più ricca e informata, in cui l'intelligenza artificiale agisce come supporto cognitivo e analitico.

Il controllo interpretativo e decisionale rimane in capo al progettista, in coerenza con il paradigma Designer in the Loop, evitando qualsiasi forma di automatizzazione del giudizio progettuale.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Datetime	Admiration	Adoration	Aesthetic Appreciation	Amusement	Anger	Anxiety	Awe	Awkwardne	Boredom	Calmness	Concentration	Contemplation	Confusion	Contempt
1	2025-01-18T17:02:03.142Z	0.103449484	0.101770975	0.078834556	0.160919175	0.052318938	0.13448605	0.084050976	0.16084559	0.420852774	0.604565561	0.292050481	0.166607395	0.221884131	0.158205241
2	2025-01-18T17:02:05.032Z	0.174005702	0.18343389	0.085297756	0.820028722	0.020899512	0.049522672	0.0772487	0.20340808	0.081347726	0.228767157	0.138187677	0.05626918	0.087119348	0.066213228
3	2025-01-18T17:03:20.961Z	0.246450722	0.237543151	0.132032305	0.524389565	0.025231106	0.060654882	0.107497141	0.20716974	0.231556952	0.474206984	0.288313925	0.149731055	0.151203603	0.119451344
4	2025-01-18T17:03:21.050Z	0.212305024	0.200297445	0.113841631	0.589678466	0.02221863	0.065045364	0.113886826	0.20314537	0.160187274	0.265784562	0.245497704	0.131560564	0.140594423	0.082148716
5	2025-01-18T17:03:23.068Z	0.090216778	0.05622767	0.05627431	0.234490991	0.105737165	0.112286732	0.28509058	0.23143476	0.318800122	0.158008039	0.244167864	0.098339535	0.324931264	0.127354965
6	2025-01-18T17:03:23.095Z	0.099446443	0.064703852	0.069013841	0.254727274	0.057354577	0.09899326	0.210828245	0.23833232	0.345322222	0.193210383	0.308058232	0.125169501	0.283756495	0.108662884
7	2025-01-18T17:03:24.940Z	0.043460038	0.043390375	0.034828904	0.238200933	0.110322341	0.088936523	0.119607493	0.098719	0.200910896	0.133157685	0.064845766	0.02947953	0.071978174	0.063303046
8	2025-01-18T17:03:25.030Z	0.042717554	0.041975774	0.033525079	0.121562302	0.089624532	0.119660862	0.09879746	0.196328849	0.125891224	0.063314021	0.02847339	0.073153006	0.065613094	0.1
9	2025-01-18T17:03:26.929Z	0.042942706	0.041438214	0.030679451	0.262841821	0.165733635	0.103798583	0.116991386	0.09245626	0.155738011	0.094462156	0.055673961	0.025508069	0.068041489	0.060625486
10	2025-01-18T17:03:27.015Z	0.040880829	0.038775016	0.029187694	0.247494489	0.180839539	0.108227998	0.119576059	0.09210315	0.157854319	0.090841383	0.054610077	0.02485144	0.068090633	0.06125702
11	2025-01-18T17:03:28.932Z	0.114201047	0.087418891	0.083740875	0.131816581	0.06946753	0.137448892	0.075523354	0.21336578	0.582415521	0.661453903	0.500809848	0.263182938	0.307622135	0.211047262
12	2025-01-18T17:03:29.022Z	0.114127755	0.087972477	0.082634799	0.137499094	0.069180936	0.137676433	0.073329777	0.21590677	0.568936408	0.631347239	0.49014312	0.261375397	0.311125875	0.206691742
13	2025-01-18T17:03:30.946Z	0.093629556	0.068361521	0.068408735	0.125964724	0.103444509	0.141700268	0.089194566	0.237791	0.546560526	0.426229635	0.421284944	0.228907064	0.39508456	0.244881954
14	2025-01-18T17:03:31.031Z	0.08944787	0.06247825	0.06524585	0.118645396	0.10462564	0.140177678	0.039894355	0.24351585	0.575384736	0.415463464	0.419586994	0.230380356	0.392568707	0.246853557
15	2025-01-18T17:03:32.942Z	0.106230587	0.075155902	0.08039023	0.123594932	0.07365559	0.143397853	0.086030878	0.20784406	0.667619824	0.711910784	0.584304512	0.25841342	0.343798819	0.190631434
16	2025-01-18T17:03:33.023Z	0.099657327	0.068256855	0.076632306	0.117079422	0.078935154	0.147797048	0.08673428	0.20978227	0.651730895	0.673265159	0.593372405	0.258240342	0.361464858	0.188443244
17	2025-01-18T17:03:34.946Z	0.142476141	0.119683996	0.098898649	0.307113913	0.033130899	0.082290657	0.106126592	0.27132052	0.382551879	0.380138069	0.359518468	0.17970401	0.240940884	0.163553178
18	2025-01-18T17:03:35.024Z	0.140869707	0.12076959	0.103319995	0.247174472	0.032137018	0.08667209	0.084643513	0.23877454	0.430105776	0.452280849	0.419278026	0.22370103	0.249658018	0.167841017
19	2025-01-18T17:03:36.929Z	0.05891725	0.04075865	0.047859296	0.067431584	0.110835142	0.174550399	0.051004089	0.21845447	0.628953338	0.392716408	0.399059981	0.238386258	0.376099437	0.235576719
20	2025-01-18T17:03:37.017Z	0.096036629	0.039200973	0.046552375	0.064697959	0.107769205	0.174022749	0.049273696	0.2143207	0.656286657	0.40564388	0.401726097	0.2337493	0.377312332	0.233688325
21	2025-01-18T17:03:38.960Z	0.081821859	0.075270838	0.078954888	0.091383897	0.053653514	0.145847678	0.063674502	0.15597078	0.624227285	0.88616558	0.4188834	0.255833295	0.292025506	0.176709905
22	2025-01-18T17:03:39.065Z	0.098172579	0.072998837	0.050898817	0.098135091	0.050898817	0.147910997	0.062208354	0.16732717	0.649493098	0.452579021	0.671896486	0.261577398	0.310073346	0.184848495
23	2025-01-18T17:03:40.929Z	0.056681148	0.043918062	0.04491657	0.117322892	0.146642998	0.150199935	0.061442301	0.30669126	0.341294736	0.243489593	0.270159423	0.143432572	0.584119022	0.399846613
24	2025-01-18T17:03:41.017Z	0.066239162	0.04367109	0.045222476	0.118565999	0.15303406	0.142403918	0.061211791	0.30614313	0.356239468	0.252963513	0.275981247	0.140012249	0.335392165	0.396065504
25	2025-01-18T17:03:42.934Z	0.068795994	0.048972558	0.058502831	0.089606442	0.097782515	0.149576798	0.061802205	0.24467397	0.665413976	0.545414686	0.471609324	0.208556712	0.383643776	0.249973074

Figura 28: Estratto del file results.csv dell'emotion analysis di HumeAI

6.4.5. Confronto ed evoluzione degli strumenti

Le sperimentazioni presentate nei paragrafi precedenti delineano una traiettoria evolutiva degli strumenti sviluppati per l'individuazione e l'interpretazione degli user requirements. Tale evoluzione non va intesa come una semplice successione tecnologica, ma come un processo di affinamento metodologico volto a migliorare la qualità della comprensione dell'utente e la sua integrazione nel processo progettuale, mantenendo il designer al centro delle decisioni secondo il paradigma Designer in the Loop.

Il confronto tra gli strumenti evidenzia come ciascuna applicazione risponda a esigenze differenti e presenti specifici punti di forza e limiti, sintetizzati in Tabella 12, che mette in relazione tipologia di interazione, dati raccolti, ruolo dell'intelligenza artificiale e contributo al processo progettuale.

Interview with a Chatbot si configura come strumento efficace per la raccolta asincrona e la strutturazione dei dati dichiarativi preliminari, risultando utile come sistema di screening iniziale. Tuttavia, i test hanno evidenziato limiti significativi nell'emersione di preferenze estetiche ed emozionali, in particolare per utenti poco inclini alla compilazione testuale.

L'evoluzione verso strumenti sincroni e multimodali (*Interview App* e *Yacht Design Generator with AI*) introduce una dimensione osservativa che arricchisce l'interpretazione delle risposte grazie alla combinazione di feedback verbale, analisi emotiva e stimoli visivi. In questi casi, il valore risiede nella produzione di dati contestualizzati e tracciabili a supporto delle decisioni di concept design, a fronte di una maggiore complessità tecnica che richiede supervisione critica da parte del progettista.

Un ulteriore avanzamento è rappresentato dal *Conversational AI Agent*, che introduce una modalità di interazione adattiva ed empatica, avvicinando l'esperienza digitale alla qualità del colloquio umano. Qui l'AI contribuisce alla riformulazione, sintesi e organizzazione dell'informazione, generando output strutturati immediatamente integrabili nel workflow progettuale, pur presentando limiti legati alla dimensione del campione sperimentale e ai vincoli etico-normativi.

Nel loro insieme, gli strumenti analizzati mostrano un passaggio progressivo:

- da sistemi orientati alla raccolta strutturata dei dati,
- a strumenti di supporto interpretativo,
- fino a interfacce capaci di facilitare una comprensione più profonda e sfaccettata dell'utente.

Tabella 12: Comparazione tra le app sviluppate

STRUMENTO	TIPOLOGIA DI INTERAZIONE	TIPOLOGIA DI DATI RACCOLTI	RUOLO DELL'AI	CONTRIBUTO AL PROCESSO PROGETTUALE	LIMITI EMERSI
INTERVIEW WITH A CHATBOT	Asincrona, testuale, guidata	Dati dichiarativi strutturati (requisiti funzionali, vincoli, profilo utente)	Strutturazione e normalizzazione dell'input	Supporto alla fase di <i>empathize</i> e <i>define</i> ; prima scrematura dei requisiti e creazione di un brief preliminare riutilizzabile	Limitata capacità di far emergere preferenze estetiche ed emozionali; poco efficace con utenti poco inclini alla scrittura
INTERVIEW APP	Sincrona, multimodale (audio/video + contenuti visivi)	Dati dichiarativi + segnali emotivi (voce, espressioni facciali)	Analisi emotiva e visualizzazione e dei feedback	Arricchimento dell'interpretazione dei requisiti; supporto alla valutazione delle reazioni spontanee del cliente durante la presentazione dei concept	Maggiore complessità tecnica e operativa; necessità di supervisione costante del designer
YACHT DESIGN GENERATOR WITH AI	Sincrona, multimodale e generativa	Dati emotivi, preferenze visive, feedback comportamentali	Analisi emotiva + generazione di stimoli visivi	Collegamento diretto tra requisiti e concept design; supporto all'esplorazione e delle preferenze del cliente	Rischio di sovra-enfasi sugli output visivi; necessità di interpretazione critica per evitare soluzioni standardizzate
CONVERSATIONAL AI AGENT	Sincrona, vocale, adattiva ed empatica	Dati narrativi, emozionali e semantici (trascrizioni, sentiment, profili)	Dialogo adattivo, sintesi e profilazione	Supporto cognitivo avanzato alla fase di <i>user understanding</i> ; riduzione del carico cognitivo del designer; generazione di report strutturati	Campione sperimentale limitato; necessità di protocolli etici e normativi rigorosi
INSIEME DEGLI STRUMENTI (LETTURA SISTEMICA)	Integrata e progressiva	Dati eterogenei e complementari	Supporto cognitivo e interpretativo	Costruzione di una conoscenza progettuale più ricca, tracciabile e comparabile	Frammentazione degli output; necessità di integrazione in un sistema unitario

Nel loro insieme, le sperimentazioni descritte in questo blocco mostrano come l'efficacia dei singoli strumenti aumenti localmente la qualità della comprensione dell'utente, ma generi al contempo una frammentazione informativa che ricade sul progettista.

Nessuna delle soluzioni analizzate risulta infatti autosufficiente: il valore emerge dalla loro integrazione all'interno di un metodo che amplifica, senza sostituirla, la capacità interpretativa e decisionale del designer.

Le criticità emerse — in particolare l'eterogeneità degli output e la difficoltà di coordinare strumenti e fasi progettuali — hanno evidenziato la necessità di architetture più strutturate, capaci di garantire continuità, tracciabilità e controllo umano lungo l'intero processo.

Questa esigenza di orchestrazione costituisce il presupposto concettuale per lo sviluppo dei sistemi multi-agente introdotti nel Blocco C, in cui il paradigma *Designer in the Loop* viene implementato come risposta sistemica alla complessità osservata.

6.5. Dal requisito alla generazione del concept

Se nel Blocco A la frammentazione riguarda la fase di *user understanding*, nel Blocco B emerge nel passaggio dai requisiti al concept: l'analisi del mercato, la selezione di riferimenti e la generazione di prime alternative vengono supportate da strumenti differenti, ancora non orchestrati in una pipeline unica. Ne deriva un aumento del lavoro di sintesi e riallineamento a carico del progettista, che resta responsabile della validazione e della coerenza complessiva.

In questa transizione, i requisiti emersi nelle fasi di *empathize/define* vengono tradotti in input progettuali (vincoli, priorità e parole chiave) e utilizzati per:

- orientare l'esplorazione del contesto competitivo e
- produrre stimoli preliminari utili all'ideazione.

L'AI interviene come acceleratore dell'accesso alle informazioni e della generazione di varianti, mentre la selezione e la sintesi progettuale rimangono governate dal designer.

Le sperimentazioni descritte nei paragrafi seguenti illustrano come questo approccio sia stato implementato attraverso strumenti distinti, ciascuno focalizzato su una specifica funzione del processo: l'analisi del contesto competitivo, la generazione di concept preliminari e la riflessione critica sui limiti della generazione assistita.

Tali strumenti non vengono presentati come soluzioni risolutive, ma come supporti progettuali parziali, il cui valore emerge solo all'interno di un processo governato dal designer.

Il passaggio dai requisiti al concept rappresenta uno dei momenti di maggiore rischio progettuale, poiché l'aumento di alternative generate non corrisponde automaticamente a un aumento di qualità decisionale.

6.5.1. Analisi dei competitor come strumento di orientamento progettuale

La fase di *benchmark* competitivo è finalizzata a ricostruire lo stato dell'arte e a identificare *pattern* ricorrenti (*layout*, scelte formali, materiali, *target*), nonché margini di differenziazione. Per ridurre il carico operativo legato alla ricerca manuale, è stato sviluppato un modulo di supporto basato su *web scraping* controllato e *matching* semantico, che interroga fonti pubbliche selezionate (siti dei cantieri, riviste specialistiche, *marketplace/broker*, archivi di premi e cataloghi digitali), con tracciamento delle *query* e normalizzazione dei dati raccolti.

I risultati vengono organizzati in un report strutturato che include:

- una *shortlist* di imbarcazioni affini al *brief* (con scheda tecnica e descrizione),

- una tabella comparativa rispetto ai requisiti emersi e
- una metrica composita di coerenza, calcolata tramite similarità multidimensionale su criteri pesati dal progettista (es. dimensioni principali, destinazione d'uso, configurazione spazi, comfort, materiali e stile).

Un riepilogo discorsivo generato da un modello linguistico esplicita le ragioni della selezione, con funzione di supporto interpretativo (Figura 29).

L'output non è inteso come ranking prescrittivo, ma come base informativa per la riflessione progettuale: il progettista verifica la pertinenza dei casi, corregge eventuali errori di matching e utilizza i risultati per individuare opportunità di differenziazione, evitando dinamiche di imitazione automatica.

Boat Comparison			
	991	742	1008
Nome	Nacra 17 Foiling	Hobie Cat Wild Cat	Nacra Inter 20
Hull type	Catamaran	Catamaran	Catamaran
Hull length	5.25	5.52	6.1
Beam (width)	2.59	2.57	2.59
Draft	1.04	1.57	1.02
Light displacement (MLC)	138.8	180.08	190.06
Cabin(s)	None	None	None
Category	Double handed flying catamaran	Double handed sport/beach catamaran	Double handed sport/beach catamaran
Upwind sail area	20.2	21.15	22.85
Downwind sail area	35.2	38.0	43.0





Figura 29: Risultato dell'agente preposto a effettuare l'analisi dei competitor

6.5.2. First Concept Generator

A valle della definizione del *brief* e del *benchmark* competitivo, la ricerca ha sviluppato un modulo di generazione assistita orientato alla produzione di stimoli preliminari (non di *concept* "risolti"). Il *First Concept Generator* produce alternative visive e schemi concettuali a partire da requisiti validati, tradotti in prompt strutturati e modificabili dal designer, con l'obiettivo di ampliare lo spazio delle possibilità e accelerare l'avvio della fase creativa.

La procedura prende avvio da una specifica iniziale che colloca il progetto all'interno di una famiglia tipologica, attraverso parametri nautici di massima (dimensioni principali, coefficienti di forma e rapporti dimensionali). Tali parametri vengono integrati con:

- le priorità funzionali ed esperienziali emerse dall'analisi degli *user requirements*;
- i riferimenti individuati tramite l'analisi dei competitor;
- eventuali stime preliminari fornite da modelli predittivi, a supporto della coerenza forma-prestazione già in fase concettuale.

Queste informazioni vengono sintetizzate in un *prompt* progettuale, concepito non come istruzione rigida, ma come rappresentazione testuale strutturata dell'intento progettuale. Il *prompt* include vincoli, preferenze e riferimenti stilistici ed è esplicitamente raffinementale dal designer, che può modificarne il lessico, il livello di astrazione e il peso attribuito ai diversi requisiti.

Su questa base, modelli generativi (ad es. modelli a diffusione) producono una pluralità di output — immagini concettuali, sketch digitali o volumi di massima — che rappresentano interpretazioni differenti dello stesso prompt, senza imporre una soluzione unica o prescrittiva. La variabilità degli output è parte integrante del metodo e consente di esplorare direzioni progettuali alternative a partire da uno stesso insieme di requisiti.

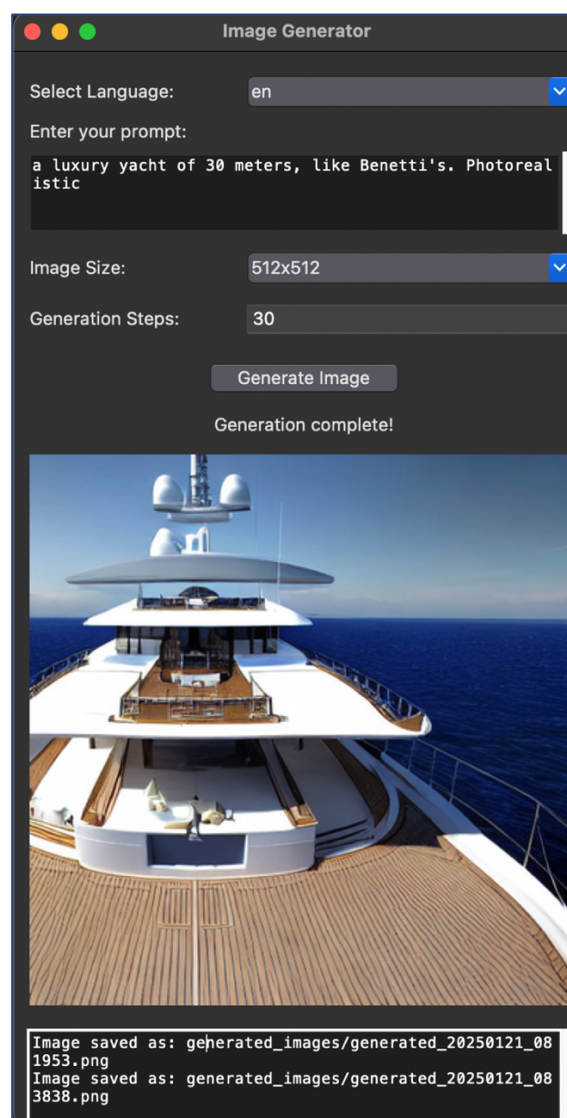


Figura 30: Screenshot dell'output del programma *Image_generation.py*

Gli output vengono trattati come materiale esplorativo: il progettista seleziona, confronta, combina e rielabora le alternative, trasformandole in sketch e successive iterazioni progettuali. Il valore del modulo risiede nell'accelerare l'esplorazione e nel rendere più tracciabile il passaggio requisito → prompt → stimolo → decisione, senza automatizzare il giudizio progettuale.

Un ulteriore strumento che il designer può utilizzare per ampliare le potenzialità del sistema è l'impiego di software di generazione tridimensionale automatica, come *Meshy*, che consentono di convertire in pochi minuti uno sketch, una fotografia o una bozza bidimensionale in un modello 3D navigabile, compatibile con i principali software di modellazione, tra cui Rhinoceros (Figura 31).

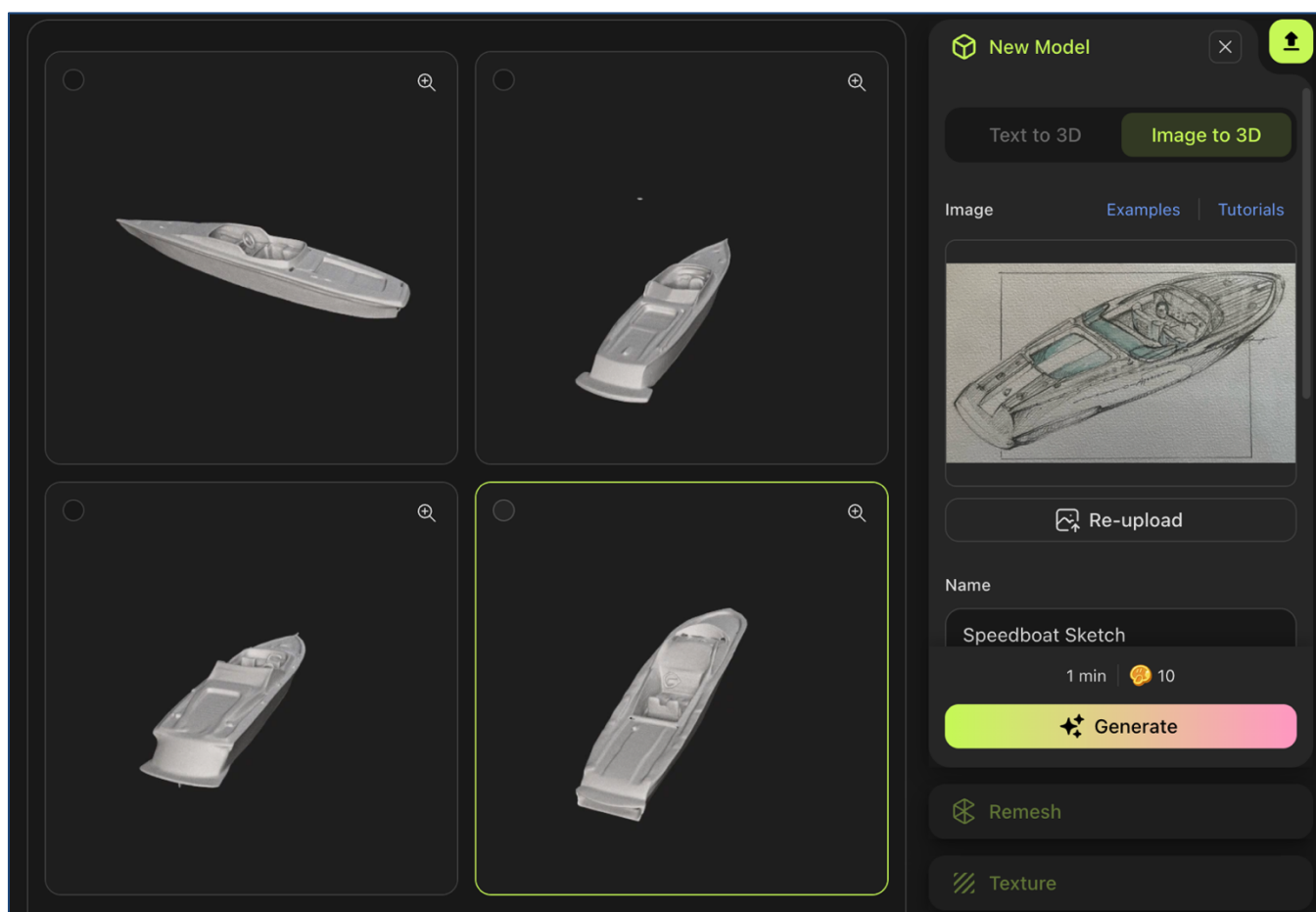


Figura 31: Utilizzo di software come Meshy per passare da uno sketch a un file 3D

I modelli ottenuti possono essere rapidamente rifiniti (materiali, texture, illuminazione) con un livello di dettaglio sufficiente per *walkthrough* e confronto preliminare. Questa rapidità facilita iterazioni brevi con il cliente e supporta la raccolta di feedback nelle fasi iniziali, accelerando il processo di convergenza verso un progetto condiviso tra cliente e designer.

Il valore complessivo dello strumento risiede nella sua capacità di ampliare rapidamente lo spazio delle alternative, riducendo il rischio di fissazione precoce su una singola soluzione. Anche in questo caso, il ruolo dell'intelligenza artificiale è chiaramente subordinato alla decisione umana: il progettista

agisce come filtro critico, selezionando ciò che è rilevante, modificando o scartando le proposte generate e integrandole con la propria esperienza e sensibilità progettuale. Il sistema non decide, non ottimizza e non valuta autonomamente, ma fornisce materiale esplorativo a supporto del processo creativo.

6.5.3. Limiti e criticità della generazione assistita

Le sperimentazioni evidenziano criticità ricorrenti:

- rischio di convergenza verso pattern frequenti (standardizzazione),
- sovra-enfasi su output visivi a scapito di fattibilità e coerenza d'uso,
- sensibilità ai prompt e scarsa consistenza tra iterazioni.

Ne deriva la necessità di mantenere la generazione assistita in un regime di supervisione critica, in cui gli output sono interpretati come segnali e ipotesi progettuali, non come soluzioni. L'emergere di tali limiti, insieme alla frammentazione tra moduli (benchmark, generazione, feedback), ha motivato l'evoluzione della ricerca verso architetture integrate orientate all'orchestrazione del workflow, alla tracciabilità delle decisioni e alla gestione delle incongruenze lungo le iterazioni. Questo passaggio introduce il Blocco C, in cui tali funzioni vengono implementate mediante un sistema multi-agente con intervento esplicito del designer nei punti di controllo. In parallelo, l'attenzione della ricerca si è progressivamente estesa a contesti ad alta responsabilità operativa, dove tracciabilità, controllo umano e gestione dell'errore diventano requisiti centrali (sviluppati nel Blocco D).

BOX: Dal Concept design al basic design nel design nautico.

Una volta definito il concept design, il progetto entra nella fase di basic design, in cui le scelte concettuali vengono tradotte in una prima configurazione tecnica verificabile. In questa fase vengono dettagliate le linee di carena, le appendici e, se presenti, il piano velico, insieme a una prima impostazione strutturale e impiantistica dell'unità.

Il basic design conduce alla produzione della cosiddetta documentazione di 0-point, che comprende, tra gli altri elaborati: specifiche tecniche, piano generale, carene preliminari, piano delle dimensioni principali, sistemazioni di macchina e delle appendici, esponente di carico e prime verifiche di stabilità e robustezza longitudinale. Parallelamente, viene affinata la stima dei pesi e dei baricentri attraverso strumenti come il Weight Breakdown System (WBS), che consente di monitorare l'evoluzione del dislocamento e di mantenere il controllo sugli scostamenti rispetto alle ipotesi iniziali. Le fasi successive di progettazione funzionale e costruttiva approfondiscono ulteriormente gli aspetti strutturali, impiantistici e normativi, includendo analisi FEM, studi su rumore e vibrazioni e l'interazione con Registri di Classifica e Autorità di Bandiera. Sebbene fondamentali nel processo navale, tali fasi esulano dall'obiettivo della presente ricerca, che si concentra sulle fasi preliminari di definizione dei requisiti, concept design e supporto decisionale, ambiti in cui l'intelligenza artificiale e il paradigma Designer in the Loop mostrano il maggiore potenziale di impatto.

6.6. Ecosistema multi-agente per il supporto al concept design

L'evoluzione degli strumenti di intelligenza artificiale utilizzati nel corso della ricerca ha reso progressivamente evidente il limite di un approccio frammentato e tool-based, in cui ciascuna applicazione opera in modo isolato, senza una reale integrazione metodologica nel processo progettuale. Per rispondere a questa criticità, la ricerca ha condotto allo sviluppo di un ecosistema multi-agente concepito come infrastruttura cognitiva di supporto al concept design nautico, capace di coordinare strumenti eterogenei all'interno di un flusso coerente e governato dal progettista.

L'aumento delle capacità analitiche e generative dei singoli strumenti non ha ridotto la complessità del processo progettuale, ma ne ha redistribuito il carico cognitivo, concentrandolo nella fase di sintesi e decisione a carico del progettista. In assenza di un'infrastruttura di coordinamento, tale frammentazione non rappresenta solo un limite operativo, ma introduce un rischio progettuale legato alla perdita di continuità, tracciabilità e coerenza decisionale.

L'ecosistema non è inteso come sistema decisionale autonomo, ma come ambiente assistivo, in cui una pluralità di agenti software specializzati opera in modo coordinato per supportare specifiche fasi del processo progettuale. In questo assetto, l'intelligenza artificiale agisce come amplificatore delle capacità analitiche ed esplorative del designer, senza sostituirne il giudizio critico e la responsabilità decisionale.

6.6.1. Dalla frammentazione degli strumenti a un sistema integrato

Nelle prime fasi della ricerca, i singoli strumenti sviluppati (intervista automatica, analisi emozionale, benchmarking, generazione di concept, modelli predittivi) erano utilizzati come applicazioni indipendenti, seppur coerenti dal punto di vista concettuale. Tale impostazione, pur efficace sul piano sperimentale, rendeva difficile garantire continuità informativa, tracciabilità delle decisioni e controllo sistematico del ruolo umano.

La transizione verso un ecosistema multi-agente ha consentito di superare questa frammentazione, integrando i diversi moduli in un sistema unitario, in cui ogni agente:

- riceve input strutturati dagli agenti precedenti;
- produce output intermedi espliciti e documentabili;
- richiede la validazione o interpretazione del progettista prima di alimentare le fasi successive.

Questo passaggio segna il superamento di una logica puramente strumentale dell'AI a favore di una logica *process-based*, pienamente coerente con il paradigma *Designer in the Loop*.

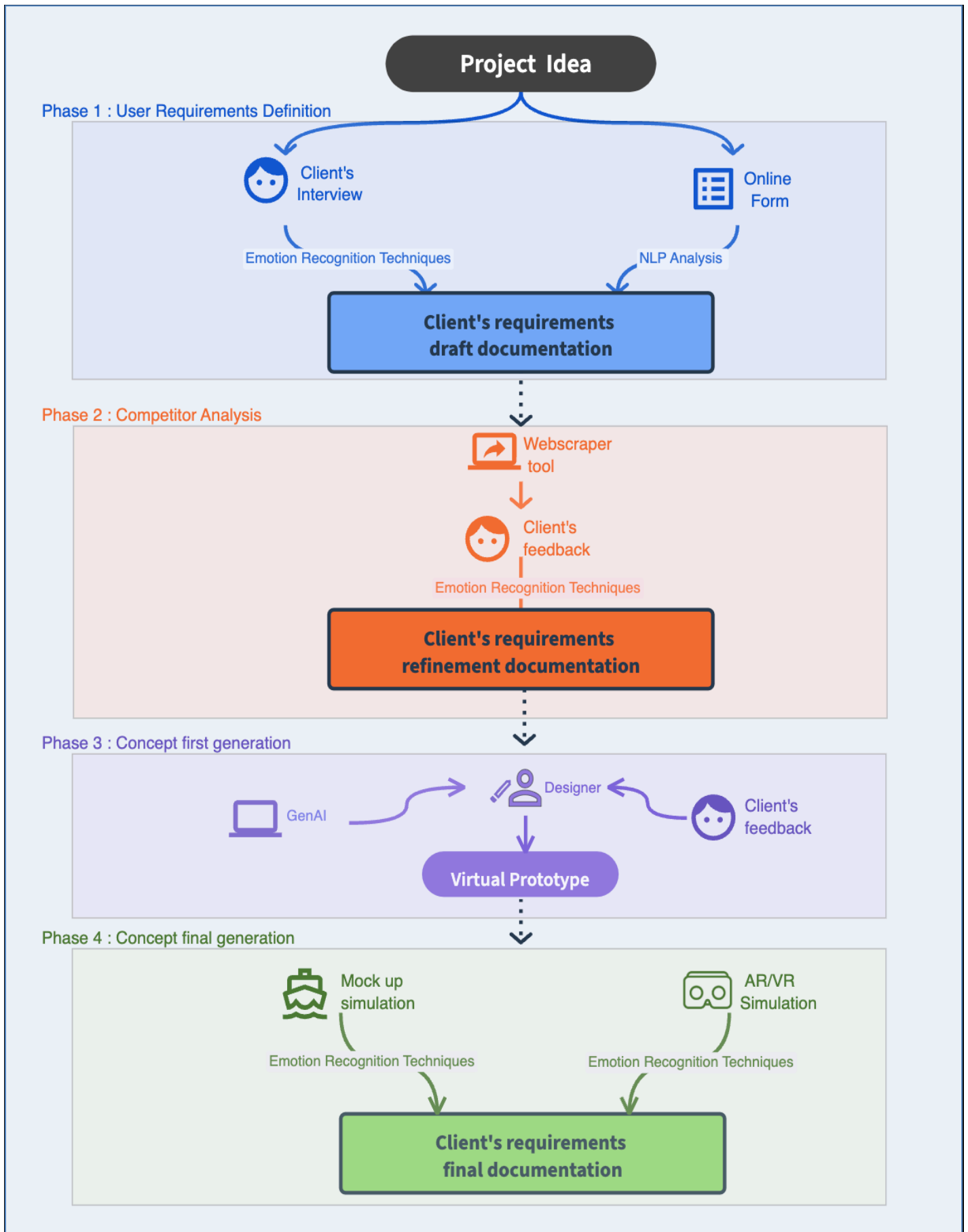


Figura 32: Uso dell'AI nella progettazione navale nautica

Questa criticità assume un peso crescente al crescere della complessità del progetto e diventa particolarmente rilevante nei contesti in cui le decisioni progettuali hanno implicazioni operative, formative o di sicurezza, anticipando la necessità di un controllo sistemico del processo.

6.6.2. Architettura concettuale dell'ecosistema multi-agente

L'ecosistema è composto da una pluralità di agenti software specializzati, ciascuno dei quali svolge una funzione specifica all'interno del processo progettuale.

Gli agenti sono progettati per operare in modo coordinato, scambiando informazioni e producendo output intermedi che alimentano le fasi successive del progetto, secondo una logica modulare e scalabile.

Un coordinator agent centrale ha il compito di orchestrare il flusso informativo, gestendo la sequenza di attivazione degli agenti e garantendo la coerenza dei dati scambiati, senza assumere in alcun caso funzioni decisionali autonome.

Il coordinamento rimane sempre sotto il controllo del progettista, che definisce obiettivi, vincoli e criteri di valutazione.

La struttura complessiva dell'ecosistema, sintetizzata nella Figura 32, riflette una mappatura esplicita tra fasi del Design Thinking e agenti di supporto, rendendo visibile il ruolo dell'intelligenza artificiale all'interno del processo e facilitando la tracciabilità delle decisioni.

All'interno dell'ecosistema multi-agente, il designer assume il ruolo di orchestratore cognitivo del processo. Egli non si limita a ricevere risultati generati automaticamente, ma definisce:

- gli obiettivi di ciascuna fase;
- i criteri di valutazione;
- i vincoli progettuali;
- il livello di esplorazione dello spazio delle soluzioni.

Ogni iterazione produce risultati intermedi che vengono sottoposti a interpretazione critica, consentendo al progettista di validare o scartare ipotesi progettuali, riformulare i requisiti e indirizzare il sistema verso nuove direzioni di ricerca.

Questo dialogo continuo tra designer e agenti configura un processo non lineare, in cui l'intelligenza artificiale agisce come partner progettuale e non come decisore autonomo.

La necessità di rendere espliciti i passaggi decisionali, i flussi informativi e i punti di validazione umana non nasce esclusivamente da esigenze di efficienza progettuale, ma diventa centrale quando il processo si estende a contesti caratterizzati da responsabilità operativa e sicurezza. In tali scenari, la progettazione non può più tollerare ambiguità interpretative o automatismi non controllati.

6.6.3. Tipologie di agenti e collocazione nel processo progettuale

Nel corso della ricerca sono stati individuati e sperimentati diversi agenti, ciascuno con un ruolo specifico all'interno del processo progettuale.

Tra i principali si annoverano:

- *Requirement Extractor Agent*, dedicato alla strutturazione dei requisiti utente a partire da interviste multimodali;
- *Competitor Analyzer Agent*, che supporta l'analisi comparativa del mercato attraverso web scraping controllato e matching semantico;
- *First Concept Generator*, orientato alla generazione assistita di alternative progettuali preliminari;
- *Simulator/Virtual Experience Agent*, che consente la valutazione immersiva dei concept tramite ambienti virtuali o prototipi digitali;
- *Agente di ottimizzazione tecnica* basato su *Machine Learning*, finalizzato al supporto quantitativo nelle fasi preliminari di definizione delle prestazioni;
- *Documentation Agent*, responsabile della generazione del fascicolo progettuale e della tracciabilità delle decisioni.

Questa articolazione consente di coprire l'intero arco del concept design (Tabella 13), mantenendo una chiara distinzione tra supporto algoritmico e decisione progettuale.

Tabella 13: Tabella riepilogativa degli agenti DITL

AGENTE	FASE DEL PROCESSO PROGETTUALE (DT)	INPUT PRINCIPALI	OUTPUT PRODOTTI	RUOLO DEL DESIGNER
AGENTE DI ESTRAZIONE E SINTESI DEI REQUISITI	Empathize / Define	Trascrizioni di interviste, risposte testuali, dati qualitativi, segnali multimodali	Requisiti strutturati, sintesi tematiche, priorità e vincoli	Valida e interpreta i requisiti, integra conoscenza tacita ed esperienza progettuale
AGENTE DI ANALISI DEI COMPETITOR	Define / Ideate	Database di prodotti esistenti, dati di mercato, benchmark	Confronti sistematici, pattern ricorrenti, posizionamento progettuale	Valuta opportunità, individua spazi di innovazione, evita imitazione automatica
AGENTE PER LA GENERAZIONE ASSISTITA DI CONCEPT	Ideate	Requisiti validati, vincoli progettuali, prompt definiti dal designer	Alternative progettuali, stimoli visivi e concettuali	Seleziona, combina e rielabora le proposte secondo una visione progettuale coerente
AGENTE DI VALUTAZIONE PRELIMINARE	Prototype / Test	Concept alternativi, criteri di valutazione, vincoli tecnici	Analisi comparative, indicatori preliminari di performance e coerenza	Decide quali soluzioni approfondire, riformula criteri e requisiti se necessario

AGENTE DI DOCUMENTAZIONE E TRACCIABILITÀ	Transversale	Output degli altri agenti, decisioni del designer	Fascicolo progettuale, log delle decisioni, versioning	Garantisce trasparenza, responsabilità e continuità del processo
DESIGNER (DESIGNER IN THE LOOP)	Tutte le fasi	Esperienza, giudizio critico, obiettivi progettuali	Decisioni progettuali consapevoli e contestualizzate	Supervisiona l'intero ecosistema, mantiene il controllo umano sulle scelte

6.6.4. Agente di estrazione e sintesi dei requisiti

Il primo agente dell'ecosistema opera nelle fasi di *empathize* e *define* ed è dedicato all'estrazione, organizzazione e sintesi dei requisiti a partire da dati eterogenei: trascrizioni di interviste, risposte testuali, output dei tool conversazionali e segnali multimodali.

L'agente non interpreta autonomamente i bisogni dell'utente, ma supporta il progettista nella strutturazione dei dati qualitativi, individuando temi ricorrenti, priorità, vincoli e ambiguità. I risultati vengono restituiti sotto forma di requisiti organizzati e mappe tematiche, che richiedono una validazione esplicita da parte del designer prima di essere utilizzati nelle fasi successive.

In questo modo, l'intelligenza artificiale agisce come strumento di riduzione della complessità informativa, lasciando al progettista il compito interpretativo e decisionale.

6.6.5. Agente per l'analisi dei competitor e del contesto di mercato

All'interno dell'ecosistema multi-agente sviluppato nel corso della ricerca, l'agente di analisi dei competitor opera tra le fasi di *define* e *ideate*, con l'obiettivo di supportare il progettista nel confronto sistematico tra soluzioni esistenti e nel posizionamento consapevole del nuovo concept progettuale. L'agente è concepito per collegare in modo diretto la fase di *user understanding* con l'analisi di mercato, riducendo la distanza tra requisiti emersi dall'interazione con l'utente e conoscenza del contesto competitivo.

Il processo si attiva a partire dal file *JSON* strutturato generato dall'intervista automatizzata condotta dall'agente conversazionale. In questo documento sono raccolte tutte le informazioni rilevanti per il progetto — tipologia di imbarcazione, dimensioni principali, numero di passeggeri, destinazione d'uso, materiali, esigenze funzionali e preferenze estetiche — organizzate in una forma normalizzata che consente all'agente di operare su dati coerenti e confrontabili.

In linea con il paradigma *Designer in the Loop*, l'agente non produce valutazioni definitive né suggerisce soluzioni progettuali da adottare. Il suo ruolo è quello di amplificare la capacità del designer di leggere il contesto competitivo, offrendo una base informata per la riflessione strategica e progettuale. Il progettista utilizza tali informazioni per evitare meccanismi di imitazione automatica, interpretare

consapevolmente le tendenze di mercato e orientare la successiva fase di generazione dei concept, mantenendo il controllo critico sulle decisioni e sul valore innovativo delle soluzioni proposte.

In questo senso, l'agente di analisi dei competitor si configura come un dispositivo cognitivo di supporto, che contribuisce a rendere il processo progettuale più informato, tracciabile e consapevole, senza vincolare la creatività né sostituire il giudizio umano. La sua integrazione nell'ecosistema multi-agente rafforza la continuità tra analisi dei requisiti, lettura del mercato e concept design, consolidando l'approccio sistemico e *human-centred* alla base del metodo *Designer in the Loop*.

6.6.6. Agente per la generazione preliminare del concept

All'interno dell'ecosistema multi-agente, il *First Concept Generator* opera nella fase di *Ideate* come agente specializzato nella produzione di stimoli progettuali preliminari a partire da un *prompt progettuale* esplicito e versionato. A differenza dell'uso stand-alone descritto nel Blocco B, qui la generazione non è un'azione isolata, ma un passaggio orchestrato all'interno di una pipeline controllata, in cui il prompt diventa un artefatto di progetto a tutti gli effetti. Il prompt viene costruito e aggiornato combinando:

- la sintesi dei requisiti prodotta dal *Requirement Extractor Agent*;
- i riferimenti, le tipologie ricorrenti e i pattern emersi dal *Competitor Analyzer Agent*;
- eventuali indicazioni correttive derivanti da feedback qualitativi e, ove disponibili, da segnali emozionali raccolti nelle interazioni con il cliente.

Il *coordinator agent* gestisce la coerenza formale del prompt (struttura, completezza, metadati e *versioning*) e registra i parametri di generazione associati a ciascuna iterazione (vincoli attivi, livello di esplorazione, riferimenti adottati), mentre la validazione semantica e progettuale resta esplicitamente in capo al designer, che può riformulare contenuto e priorità dei requisiti prima dell'attivazione dell'agente generativo.

Gli output sono restituiti insieme a metadati che ne rendono tracciabile l'origine (versione del prompt, vincoli applicati, riferimenti, timestamp), consentendo al progettista di confrontare iterazioni successive, verificare la coerenza requisito→stimolo e motivare la selezione delle alternative da approfondire. Il ciclo può ripetersi più volte, incorporando progressivamente correzioni e preferenze emerse, fino a stabilizzare una direzione progettuale condivisa.

In questo assetto, l'agente non introduce automatismi decisionali, ma opera come nodo esplorativo controllato: il suo valore risiede nell'ampliare lo spazio delle alternative mantenendo continuità, trasparenza e controllo umano, prima del passaggio alle fasi successive di simulazione, valutazione preliminare o prototipizzazione.

6.6.7. Agente di simulazione immersiva e validazione esperienziale

Nelle fasi di *prototype* e *test*, l'ecosistema integra un *Simulator Agent* basato su ambienti immersivi e realtà virtuale, che consente al cliente e al progettista di esplorare il concept in modo esperienziale prima della realizzazione.

Attraverso il simulatore, è possibile testare configurazioni spaziali, materiali, colori e soluzioni di layout, raccogliendo feedback qualitativi e comportamentali.

Il valore di questo agente risiede nella possibilità di anticipare criticità progettuali e preferenze dell'utente in una fase ancora reversibile del processo, riducendo il rischio di errori tardivi e migliorando la qualità del dialogo progettuale. Anche in questo caso, il simulatore non produce valutazioni automatiche, ma genera dati e osservazioni che alimentano il processo decisionale del designer.

6.6.8. Agente di ottimizzazione tecnica basato su Machine Learning

Grazie al protocollo MCP questo ecosistema multi-agente (MAS) può essere integrato via via con nuovi tool che integrano agenti specifici per l'ottimizzazione di alcune parti del progetto.

Per questo fine è stato concepito un Agente di ottimizzazione tecnica basato su Machine Learning, progettato per supportare il designer nelle fasi di valutazione preliminare e affinamento dei concept progettuali, in particolare per quanto riguarda le prestazioni idrodinamiche dello scafo.

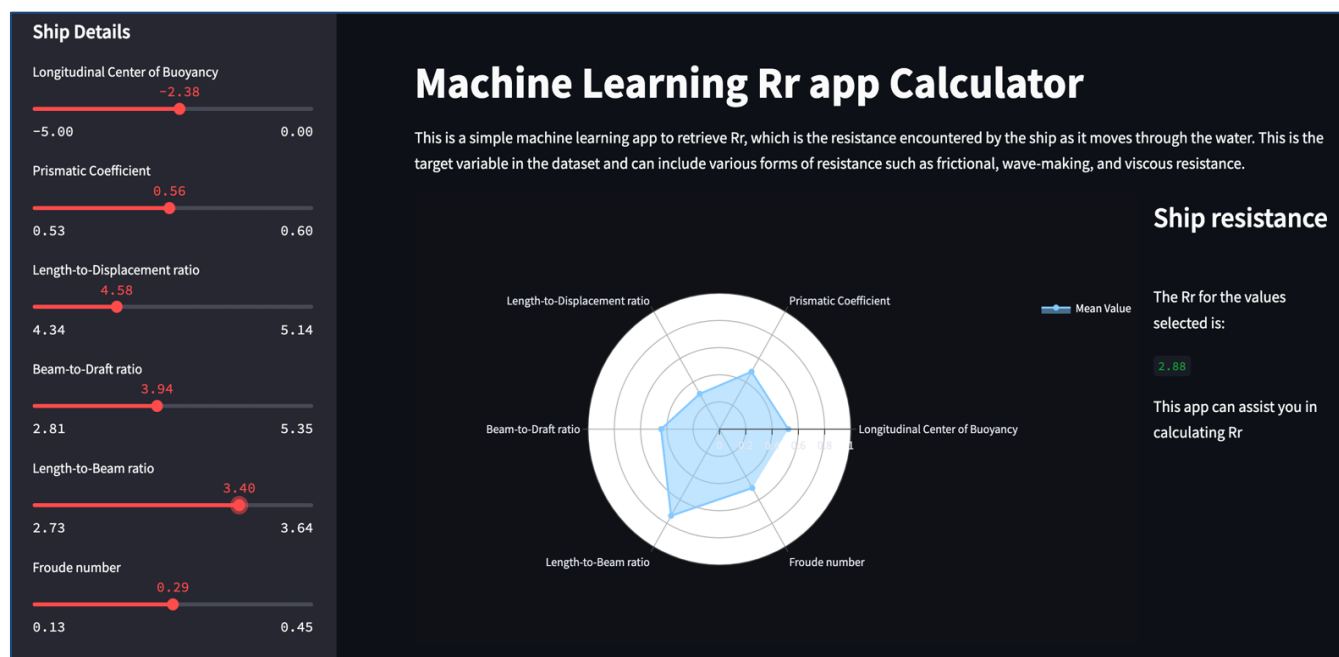


Figura 33: Screenshot del programma Streamlit per il calcolo dell' R_r ²⁶

²⁶È possibile provare il codice all'indirizzo: <https://rrpredictionmachinelearning.streamlit.app>

L'obiettivo di questo agente non è sostituire le analisi ingegneristiche tradizionali (CFD, prove in vasca, calcoli analitici), ma anticipare e orientare le decisioni progettuali nelle fasi iniziali, riducendo il numero di iterazioni necessarie e consentendo una selezione più informata delle soluzioni da approfondire.

L'agente opera prevalentemente nelle fasi di *prototype/test* del *Design Thinking*, quando uno o più concept preliminari sono già stati definiti e devono essere confrontati sotto il profilo delle prestazioni tecniche. In questo contesto, il Machine Learning agisce come strumento di supporto decisionale, fornendo indicazioni quantitative rapide che il progettista interpreta e valida criticamente.

Il modello è stato sviluppato a partire dal *Delft Systematic Yacht Hull Series (DSYHS)*, dataset di riferimento ampiamente utilizzato nella ricerca navale, che raccoglie configurazioni di carene caratterizzate da differenti numeri di Froude e parametri geometrici fondamentali.

Gli input principali utilizzati dall'agente includono:

- coefficiente prismatico (CP);
- rapporto lunghezza/dislocamento (L/D);
- rapporto larghezza/pescaggio (B/Dr);
- rapporto lunghezza/larghezza (L/B);
- posizione del centro longitudinale di galleggiamento (LC);
- numero di Froude (Fr).

Tali parametri rappresentano una sintesi efficace delle scelte geometriche effettuate nelle fasi di concept design.

Per la stima della resistenza residua dello scafo (R_r) è stato implementato un modello basato su *Gaussian Process Regression (GPR)*, scelto per la sua capacità di gestire dataset di dimensioni contenute e di fornire stime continue con elevata accuratezza. Il modello ha raggiunto valori di accuratezza pari a $R^2 > 0.95$ e un errore quadratico medio contenuto, confermando la validità dell'approccio AI-driven nelle fasi preliminari del progetto (Figura 34).

Parallelamente, è stato sperimentato un modello basato su *Decision Tree Regressor*, introdotto per migliorare la leggibilità e l'interpretabilità delle relazioni tra parametri di progetto e prestazioni, aspetto particolarmente rilevante in un contesto progettuale orientato alla trasparenza decisionale.

I modelli predittivi sono stati integrati in un'applicazione interattiva denominata *Rr Predictor App*, sviluppata in ambiente Python con interfaccia Streamlit (Figura 33).

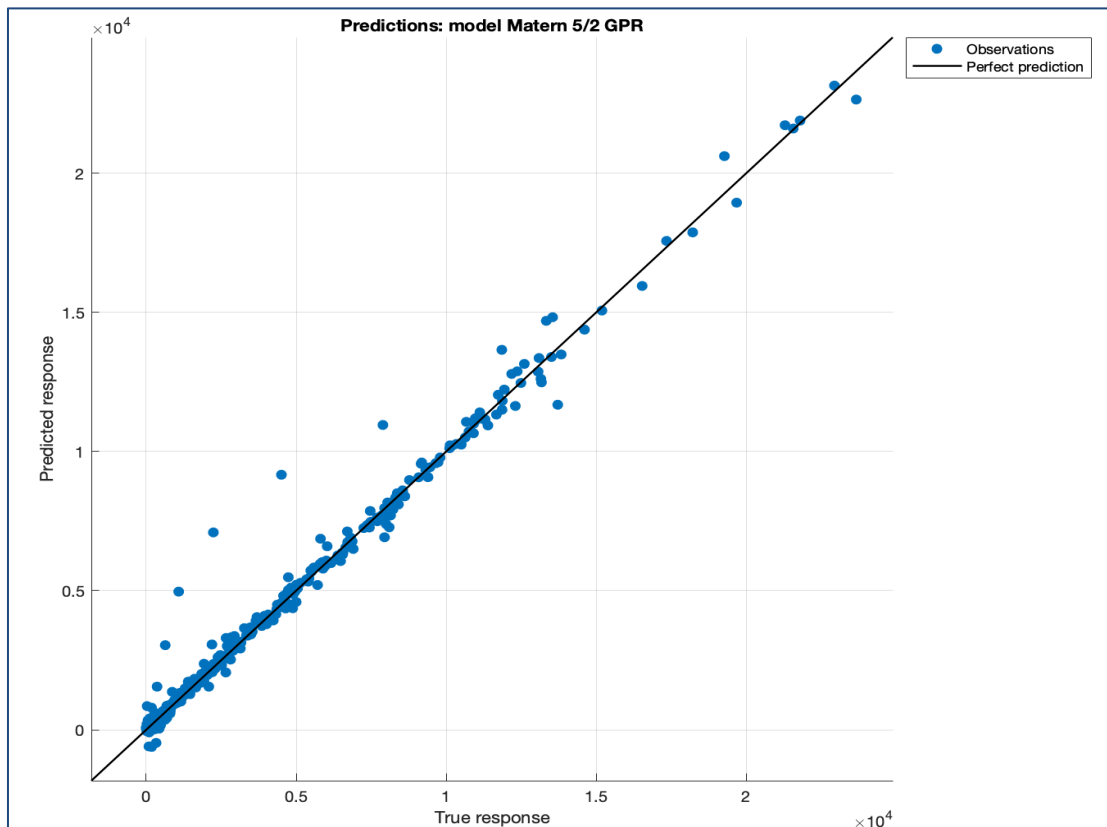


Figura 34: Prestazioni del modello

L'applicazione consente al progettista di:

- modificare in tempo reale i parametri geometrici tramite controlli dinamici;
- visualizzare immediatamente la stima della resistenza residua;
- confrontare configurazioni alternative in modo rapido;
- individuare configurazioni fuori dal dominio di validità del modello, grazie a sistemi di standardizzazione automatica degli input.

L'interfaccia è concepita come strumento esplorativo, pensato per accompagnare il progettista nelle prime valutazioni e non come sistema di verifica definitiva.

In linea con il paradigma Designer in the Loop, l'agente di ottimizzazione tecnica non assume alcun ruolo decisionale autonomo. Il progettista:

- interpreta criticamente i risultati;
- decide quali configurazioni approfondire con strumenti ingegneristici avanzati;
- riformula, se necessario, i vincoli progettuali e i parametri di input.

Il sistema opera entro un dominio di validità ben definito, legato ai dati di addestramento, e richiede una costante supervisione umana per evitare fenomeni di *overfitting* concettuale o un uso improprio delle stime predittive.

L'introduzione dell'agente di ottimizzazione tecnica basato su Machine Learning rappresenta un passaggio significativo verso un design nautico *data-informed*, in cui la conoscenza ingegneristica tradizionale viene affiancata da strumenti predittivi rapidi, trasparenti e controllabili. Questo approccio consente di anticipare criticità, orientare le scelte progettuali e migliorare l'efficienza complessiva del processo, mantenendo il designer come unico responsabile delle decisioni finali.

6.6.9. Il ruolo del designer e l'orchestrazione del Sistema

All'interno dell'ecosistema multi-agente, il progettista mantiene la responsabilità finale delle decisioni progettuali, configurandosi non come validatore ex post ma come agente cognitivo centrale del sistema (Figura 35).

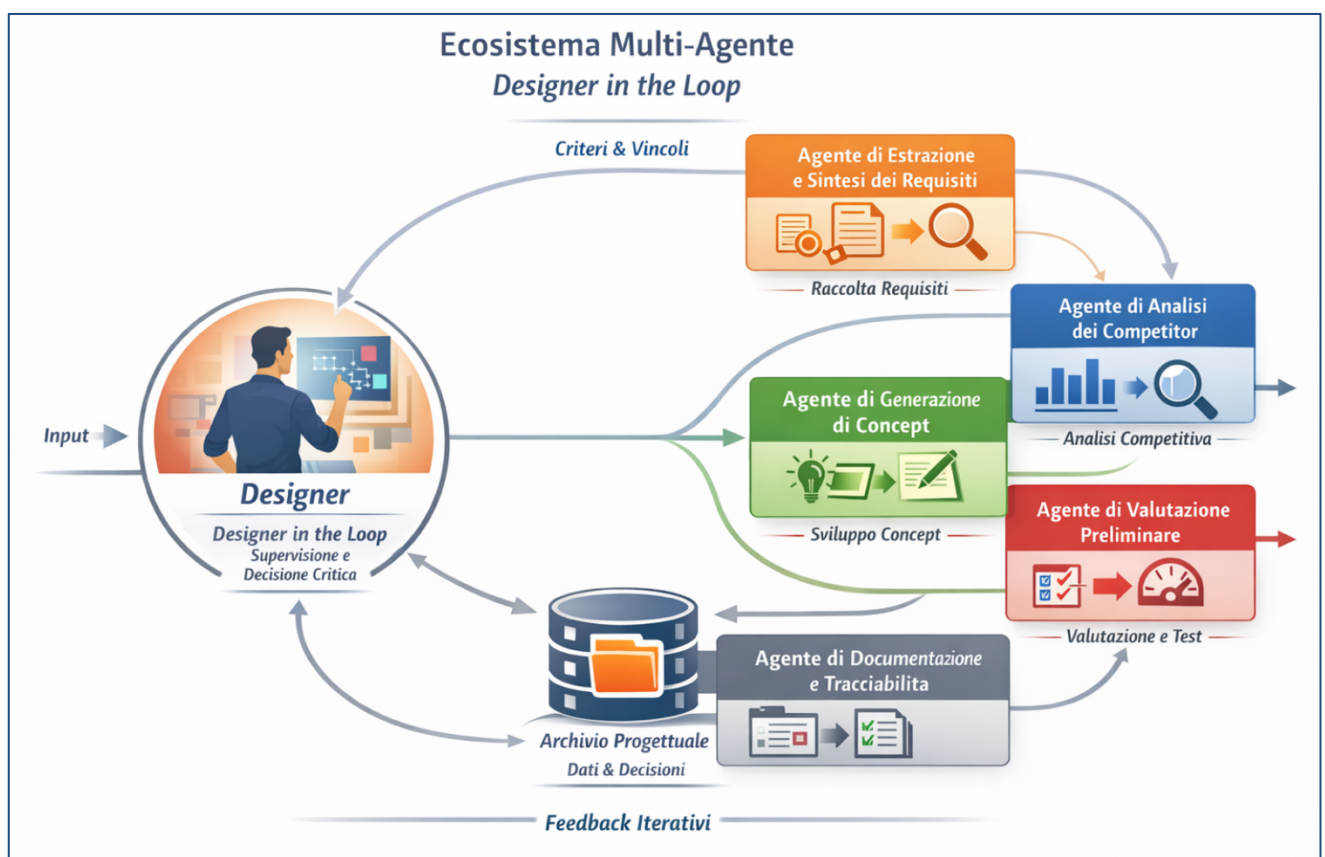


Figura 35: Ecosistema Multi-agente

Il designer definisce:

- i criteri di attivazione degli agenti;
- i parametri di analisi;
- il livello di esplorazione dello spazio delle soluzioni.

Ogni iterazione produce output intermedi che vengono sottoposti a valutazione critica, consentendo di validare, scartare o riformulare ipotesi progettuali.

Questo dialogo continuo configura un processo iterativo e riflessivo, in cui l'intelligenza artificiale agisce come partner progettuale e non come soggetto decisionale autonomo.

6.6.10. *Il fascicolo progettuale come output trasversale*

Le sperimentazioni dei Blocchi A e B hanno mostrato che l'efficacia dei singoli strumenti di AI cresce localmente (raccolta requisiti, benchmark, generazione di alternative), ma tende a produrre una frammentazione informativa che ricade sul progettista nella fase più delicata: la sintesi e la decisione. Per rendere operativamente governabile questa complessità, l'ecosistema multi-agente assume come output trasversale un fascicolo progettuale (*design dossier*), inteso come artefatto dinamico di tracciabilità e continuità del processo, non come semplice report finale.

Il fascicolo progettuale raccoglie in modo progressivo e versionato l'intero percorso di concept design, includendo:

- input iniziali e contesto (brief, vincoli, obiettivi, assunzioni dichiarate);
- requisiti strutturati derivati dalle interviste e dalla sintesi multimodale (con ambiguità e punti critici segnalati);
- risultati di benchmark e criteri di comparazione (fonti, query, metriche e pesi definiti dal designer);
- prompt e iterazioni di generazione (versioni successive, vincoli attivi, livello di esplorazione, riferimenti utilizzati);
- alternative prodotte e selezionate, con motivazioni esplicite della scelta (perché una direzione viene approfondita e un'altra scartata);
- feedback di validazione (osservazioni qualitative del cliente e, ove applicabile, indicatori emozionali/comportamentali letti criticamente);
- valutazioni preliminari (es. stime ML, check di coerenza, note di dominio di validità) e collegamenti alle fasi successive di prototipazione/simulazione.

In questo assetto, il fascicolo non è un documento statico, ma un meccanismo di controllo del processo: ogni agente contribuisce con output intermedi espliciti, mentre il designer registra punti di decisione e criteri adottati. Il risultato è una "catena" leggibile requisito → interpretazione → prompt → stimolo → scelta → revisione, che riduce la perdita di continuità tra fasi e rende verificabili le responsabilità.

Il valore del fascicolo è duplice. Sul piano operativo, consente al progettista di mantenere una visione d'insieme e di confrontare iterazioni successive senza dipendere dalla memoria informale o da file eterogenei. Sul piano metodologico, rende espliciti i punti di validazione umana, distinguendo in modo chiaro ciò che è generato/estratto dall'AI da ciò che è deciso e motivato dal designer, in coerenza con il paradigma *Designer in the Loop*.

Queste proprietà diventano decisive quando il workflow si estende a contesti reali e ad alta responsabilità: in tali scenari, la tracciabilità non è un requisito "documentale", ma una condizione per

gestire errore, accountability e trasferibilità del metodo. Per questo, il fascicolo progettuale costituisce la condizione abilitante per le applicazioni in ambito formativo e safety-critical presentate nel Blocco D, dove controllo umano, trasparenza e possibilità di audit del processo assumono un ruolo centrale.

6.7. Inquadramento normativo e implicazioni metodologiche

Nel corso dello sviluppo della ricerca dottorale, la rapida maturazione delle tecnologie di intelligenza artificiale è stata accompagnata dall’emergere di un quadro regolatorio europeo più strutturato. L’introduzione dell’AI Act ha reso necessario esplicitare in modo più rigoroso presupposti, limiti e responsabilità nell’uso dell’AI nei processi progettuali, con particolare attenzione a trasparenza, controllo umano e tracciabilità.

Le sperimentazioni presentate in questo capitolo, inizialmente concepite in un contesto esplorativo, sono state progressivamente rimodulate adottando il quadro normativo come leva di consolidamento metodologico. In tale prospettiva, il vincolo regolatorio non viene interpretato come limite, ma come criterio progettuale per rafforzare il paradigma *Designer in the Loop* e renderlo trasferibile a contesti professionali e istituzionali.

L’AI Act introduce un approccio *risk-based*, con particolare attenzione ai sistemi impiegati in ambiti che impattano sicurezza, salute, diritti fondamentali e processi decisionali sensibili. Pur non configurandosi come sistemi di decision-making autonomo, alcune applicazioni sviluppate in questa ricerca operano in contesti ad alta responsabilità operativa (formazione e scenari marittimi), dove l’errore può avere conseguenze rilevanti. Di conseguenza, è stato necessario verificare in modo sistematico che:

- i sistemi non assumessero funzioni decisionali autonome;
- fosse garantito un controllo umano effettivo sugli output;
- fossero previste misure di trasparenza, tracciabilità e gestione dei dati, in coerenza con privacy e tutela degli interessati.

Questa rilettura ha portato a inquadrare le sperimentazioni come *decision support systems*, in cui l’AI agisce come supporto cognitivo e analitico e la responsabilità delle decisioni rimane in capo all’essere umano.

Sul piano operativo, l’adeguamento si è tradotto in:

- separazione esplicita tra generazione automatica e decisione progettuale;
- introduzione di punti di controllo/validazione umana lungo il workflow;
- tracciabilità delle iterazioni e delle scelte attraverso il fascicolo progettuale.

In particolare, l'ecosistema multi-agente descritto nel paragrafo precedente è stato concepito per rendere il controllo umano operativamente verificabile: ogni agente produce output intermedi documentabili e richiede interpretazione e validazione prima di alimentare fasi successive.

Questo assetto risulta coerente con i principi di *human oversight* e riduce il rischio di automatismi non controllati.

Alla luce di tali considerazioni, il paradigma *Designer in the Loop* emerge non solo come scelta metodologica, ma come impostazione progettuale coerente con i principi di trasparenza, responsabilità e controllo umano promossi dal quadro europeo. Le sperimentazioni in contesti reali e operativi, descritte nel paragrafo successivo, consentono di valutarne robustezza ed efficacia in scenari complessi e normativamente sensibili.

6.8. Sperimentazioni in contesti formativi e professionali

Dopo una prima fase di sperimentazione in contesti controllati, la ricerca è stata estesa a contesti reali caratterizzati da elevato carico cognitivo e responsabilità operativa, con l'obiettivo di valutare la robustezza del paradigma *Designer in the Loop* in condizioni non ideali. Questa estensione è rilevante perché permette di osservare strumenti e workflow integrati in situazioni vicine alla pratica, dove leggibilità degli output, gestione dell'errore e controllo umano assumono un ruolo determinante.

L'attenzione si è concentrata su tre aspetti:

- capacità del metodo di supportare il progettista/formatore senza introdurre automatismi decisionali;
- utilizzabilità degli output in condizioni di pressione cognitiva;
- coerenza del processo con i principi di trasparenza, tracciabilità e controllo umano richiesti in contesti regolamentati.

L'impianto sperimentale adotta un protocollo multimodale per l'analisi dello stato emotivo e cognitivo, già delineato nei lavori *Navigating Emotions: A Multimodal Approach to Redefining Nautical Naval Design* [98] e *AI-Powered Emotion Recognition for Maritime Safety Enhancement* [104]. L'obiettivo è verificare affidabilità e limiti dei sistemi automatici confrontandone gli output con autovalutazioni soggettive e interpretazione esperta, riducendo il rischio di sovra-interpretazione algoritmica.

Il protocollo, replicabile, è stato applicato alle diverse sperimentazioni variando il contesto e il compito, mantenendo costante la pipeline metodologica:

- acquisizione video (inquadratura frontale stabile);
- estrazione di Facial Action Units con algoritmi FACS-based;
- analisi vocale mediante set di parametri acustici standardizzati (es. GeMAPS);

- raccolta di autovalutazioni (lista emozioni + piano *Valence–Arousal*);
- validazione qualitativa esperta (posture, micro-comportamenti, congruenza);
- integrazione in *late fusion* con sincronizzazione e normalizzazione dei flussi.

L'approccio multimodale è adottato per compensare i limiti delle analisi unimodali (occlusioni, illuminazione, rumore, scarsa espressività), e per ottenere una rappresentazione più robusta dello stato complessivo.

Tutti i dati sono stati gestiti secondo principi di minimizzazione, protezione e controllo degli accessi, in coerenza con GDPR e con le indicazioni del quadro europeo sull'AI, e utilizzati esclusivamente a fini di ricerca e formazione.

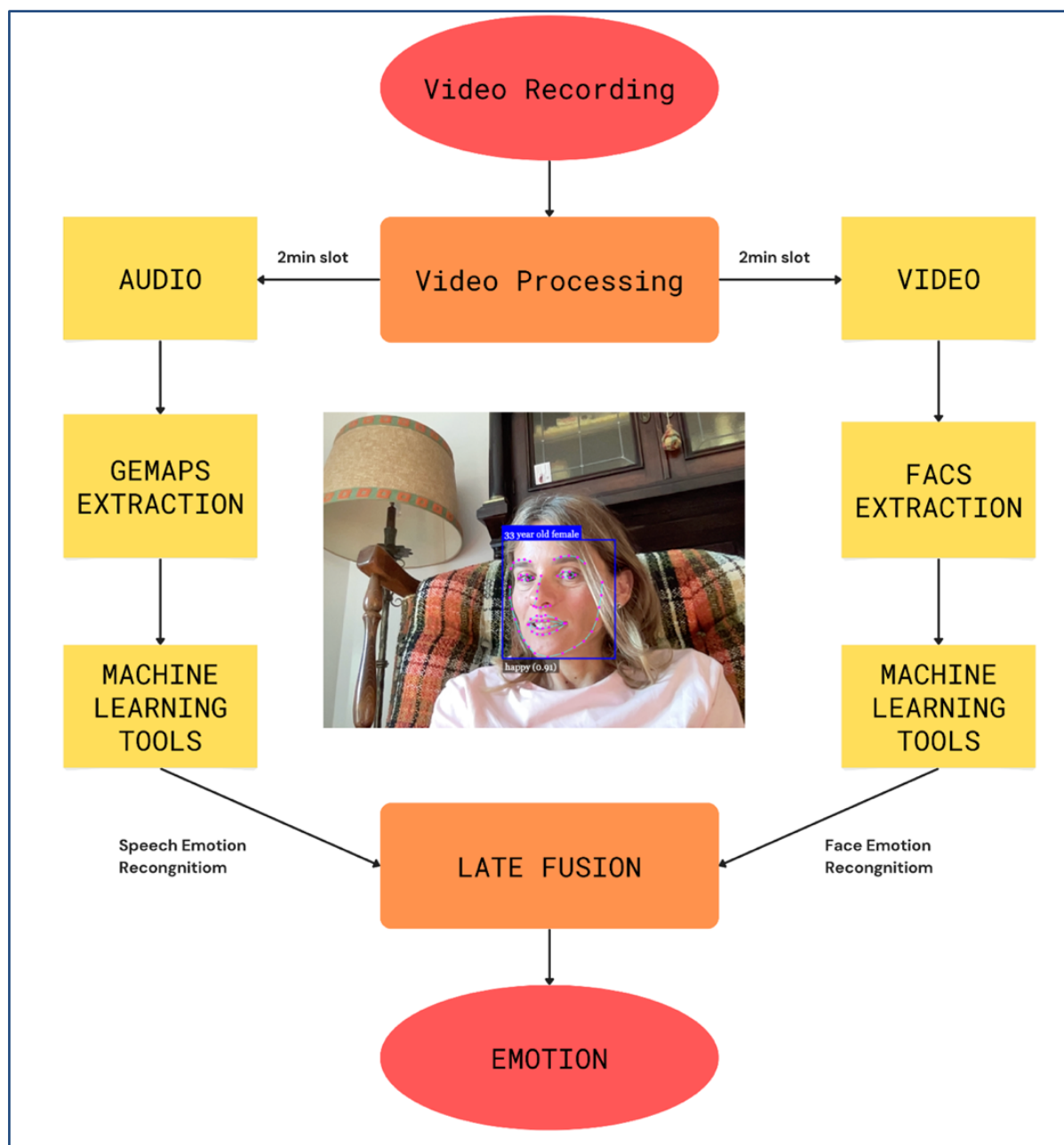


Figura 36: Schema concettuale del flusso di analisi multimodale adottato.

La Figura 36 illustra lo schema generale del flusso di analisi multimodale adottato, mentre la Tabella 14 sintetizza i software utilizzati, le feature estratte e gli output prodotti nei diversi canali di analisi.

Tabella 14: Software e feature analizzate nei tre canali e nell'integrazione multimodale.

CANALE DI ANALISI	SOFTWARE / MODELLI	FEATURE ESTRATTE	OUTPUT PRINCIPALE
VIDEO	Morphcast, OpenFace (FACS-based)	Facial Action Units (movimenti muscolari, micro-espressioni)	Probabilità emozioni primarie (Ekman)
AUDIO	HumeAI, GeMAPS, OpenSMILE	Frequenza, energia, tono, ritmo, spettro	Classificazione prosodica e intensità emotiva
TESTUALE / SOGGETTIVO	Questionari emozionali, scala Valence–Arousal	40 emozioni, coordinate valenza–attivazione	Autovalutazione soggettiva
ANALISI ESPERTA	Valutazione antropologica qualitativa	Postura, gestualità, congruenza emozionale	Validazione qualitativa
INTEGRAZIONE	Python, Pandas, Numpy (Late Fusion)	Dati sincronizzati e normalizzati	Profilo emozionale multimodale (timeline + grafici)

6.8.1. Accademia della Marina Mercantile

La collaborazione con l'Accademia della Marina Mercantile di Genova ha rappresentato il fulcro sperimentale del progetto, consentendo di osservare gli effetti dell'analisi emozionale in ambienti simulati di navigazione e formazione.

Tre esperimenti principali sono stati condotti in contesti progressivamente più complessi:

- in aula, con esercitazioni al simulatore ECDIS;
- in plancia di comando, durante manovre collaborative;

e infine

- durante i colloqui di selezione per l'ammissione al corso di Allievo Ufficiale.

Ciascun esperimento è stato concepito come un passo evolutivo rispetto al precedente, con l'obiettivo di ampliare progressivamente la complessità delle situazioni analizzate e di migliorare la qualità dei dati raccolti.

6.8.1.1. Esperimento 1: In aula al Simulatore ECDIS

Il primo esperimento è stato condotto presso il laboratorio ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) dell'Accademia della Marina Mercantile di Genova e ha coinvolto un campione di undici studenti, dieci uomini e una donna.

Ciascun partecipante è stato ripreso per circa un minuto attraverso un sistema a doppia telecamera ad alta risoluzione: una frontale, dedicata all'inquadratura del volto per l'analisi delle micro-espressioni, e una posteriore, orientata verso la postazione di lavoro per monitorare l'attività svolta al simulatore.

Gli studenti, seduti di fronte a tre monitor (Figura 37), erano impegnati in un'esercitazione di navigazione computerizzata caratterizzata da un basso livello di stimolazione emotiva ma da un elevato carico cognitivo, condizione ideale per verificare la fattibilità tecnica dell'analisi automatica delle emozioni in contesto controllato.

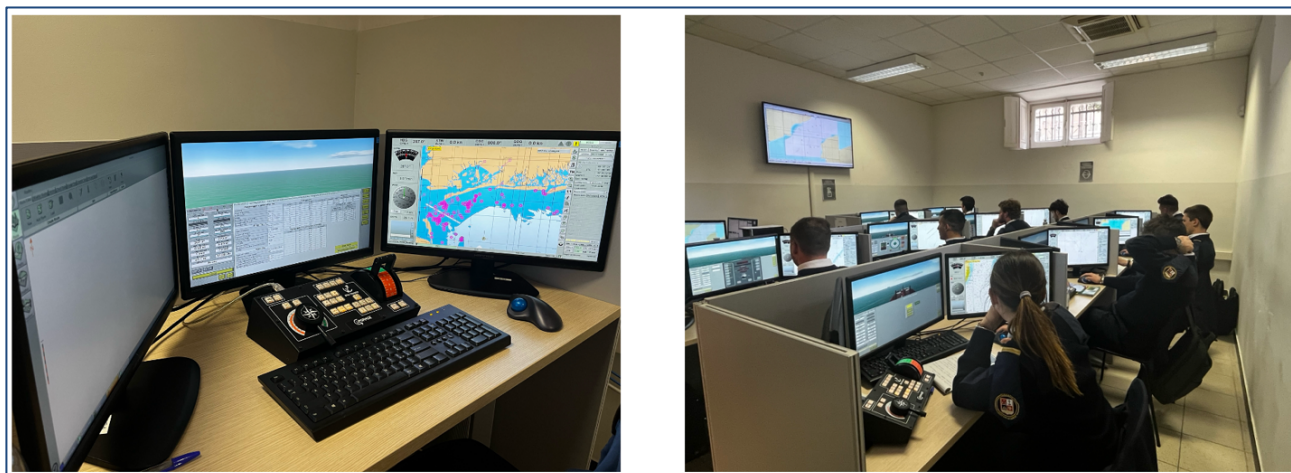


Figura 37: Simulatore ECDIS

Le registrazioni video sono state elaborate mediante due sistemi distinti, Morphcast e HumeAI, con l'obiettivo di confrontare i risultati ottenuti da algoritmi basati su approcci differenti: il primo fondato sul modello classificatorio delle *Facial Action Units* (FACS), il secondo su un modello probabilistico multimodale (Figura 38).

Le analisi condotte con HumeAI hanno evidenziato una prevalenza di stati di calma, concentrazione e lieve interesse, coerenti con la natura dell'attività e con il livello di impegno richiesto.

Morphcast, al contrario, ha fornito un'interpretazione più rigida e testuale, classificando alcune micro-espressioni come emozioni negative (ad esempio *guilt*, *embarrassment*, *shame*), nonostante il volto degli studenti risultasse quasi neutro. Tali etichette sono interpretate come output di classificazione e non come diagnosi dello stato del soggetto, e vengono discusse criticamente nel confronto con i dati soggettivi/esperti.

Questa differenza interpretativa ha messo in evidenza il contrasto tra un approccio quantitativo e sfumato, capace di descrivere la probabilità di più emozioni simultanee, e uno più esplicativo ma semplificato, che tende a forzare la categorizzazione anche in assenza di segnali espressivi marcati. Durante la sperimentazione sono emerse alcune criticità comuni alle analisi unimodali basate esclusivamente sul volto: la perdita di focus durante i movimenti laterali della testa o in caso di occlusioni parziali (ad esempio mani sul viso), la ridotta variabilità espressiva dovuta alla natura del compito e la mancanza di un feedback soggettivo da parte degli studenti, che avrebbe consentito di validare le emozioni rilevate attraverso un confronto diretto con la percezione individuale.

Un ulteriore limite è stato rappresentato dall'impossibilità di elaborare i dati in tempo reale: le registrazioni sono state analizzate successivamente, senza la possibilità di adattare la sessione sperimentale alle reazioni degli studenti.

Nonostante tali difficoltà, l'esperimento ha confermato la fattibilità del riconoscimento facciale delle emozioni in ambiente simulato e ha fornito dati fondamentali per calibrare le sessioni successive.

Le osservazioni raccolte hanno sottolineato l'importanza di adottare approcci multimodali che integrino analisi audio, segnali comportamentali e autovalutazioni soggettive, al fine di superare i limiti dell'interpretazione unimodale e ottenere una rappresentazione più completa e affidabile delle dinamiche emotive durante le attività di simulazione

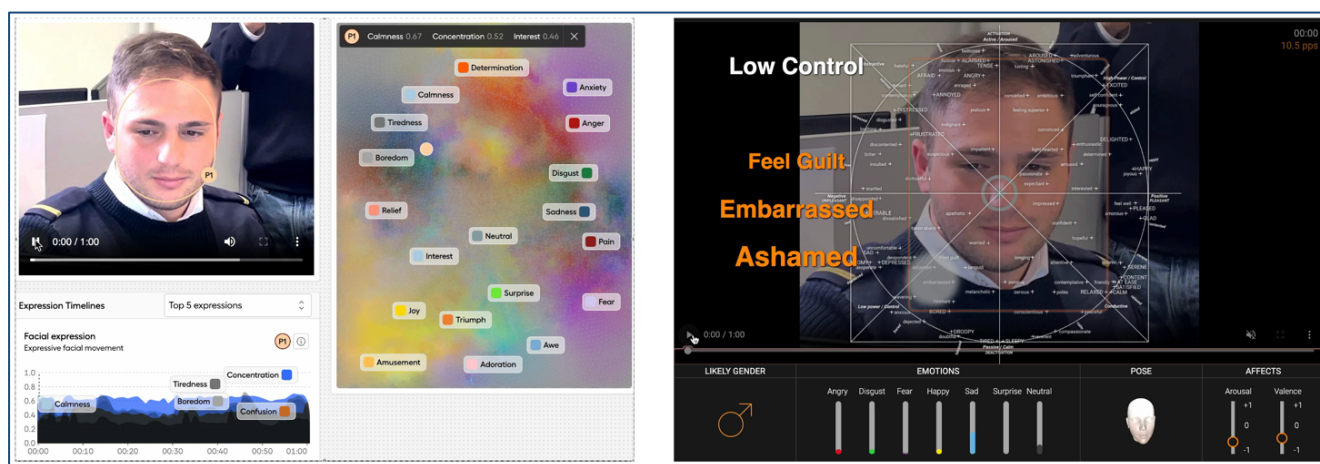


Figura 38: Risultati delle analisi dei sistemi FER

6.8.1.2. Esperimento 2: Nel simulatore di plancia di comando

Il secondo esperimento è stato realizzato nel simulatore di plancia di comando dell'Accademia della Marina Mercantile di Genova, con l'obiettivo di estendere l'indagine a un contesto operativo più complesso e dinamico, in cui fossero presenti più soggetti in interazione simultanea (Figura 39). Il campione, composto da quattro studenti, è stato impegnato in una manovra collaborativa di navigazione che prevedeva la gestione congiunta di strumenti di bordo, comunicazioni vocali e decisioni condivise in tempo reale.

L'ambiente di simulazione, altamente realistico e immersivo, ha consentito di osservare come le emozioni si manifestassero in situazioni di cooperazione e sotto condizioni di pressione cognitiva, tipiche del lavoro di plancia.

La configurazione tecnica prevedeva una telecamera grandangolare posta in posizione centrale per riprendere l'intera postazione e ulteriori microfoni ambientali destinati alla registrazione del parlato.

Tuttavia, la compresenza di più soggetti, la continua mobilità degli operatori e la variabilità dell'illuminazione hanno reso particolarmente complessa l'acquisizione dei dati. In numerosi casi, i sistemi di riconoscimento facciale hanno perso la traccia dei volti o li hanno confusi tra loro, a causa di angoli di ripresa sfavorevoli o di parziali occlusioni dovute agli strumenti di bordo. Anche la distanza eccessiva dalla telecamera ha influito sulla qualità dell'immagine, riducendo la precisione dell'analisi dei micro-movimenti facciali e aumentando il margine d'errore nella classificazione delle emozioni.



Figura 39: Simulatore di plancia di comando

Nonostante la qualità dei dati fosse inferiore rispetto al primo esperimento, le analisi successive hanno rivelato pattern interessanti di variazione emotiva: in particolare, si sono osservati picchi di arousal durante le fasi critiche della manovra — correzione della rotta, avvicinamento a un ostacolo, gestione di un imprevisto — seguiti da un rapido calo dell'attivazione in corrispondenza della conclusione positiva dell'azione.

Queste oscillazioni, coerenti con la letteratura sui fattori umani e sulle reazioni da stress operativo, suggeriscono che l'attività di navigazione collaborativa genera una risposta emotionale distinta da quella individuale, più marcata nei momenti di coordinamento e decisione condivisa.

Dal punto di vista metodologico, il secondo esperimento ha avuto un valore cruciale perché ha messo in evidenza i limiti dell'analisi unimodale in ambienti complessi e in movimento, dove la sola

osservazione del volto non è sufficiente a restituire un quadro affidabile dello stato emozionale complessivo.

L'esperienza raccolta ha mostrato la necessità di un approccio multimodale e sincronizzato, capace di integrare segnali provenienti da diverse fonti — visiva, acustica e fisiologica — per compensare la perdita di informazione dovuta al movimento o alle condizioni ambientali.

Queste considerazioni hanno costituito la base teorica per la progettazione delle fasi sperimentali successive, nelle quali il paradigma di analisi si è progressivamente ampliato, includendo la dimensione soggettiva e quella antropologica, in direzione di una validazione incrociata più robusta.

6.8.1.3. Esperimento 3: Interviste agli aspiranti allievi ufficiali

Il terzo esperimento ha rappresentato un momento di svolta nella ricerca, segnando il passaggio da una fase di mera verifica tecnica del riconoscimento automatico delle emozioni a una fase di validazione comparativa tra diverse prospettive di analisi: quella algoritmica, quella soggettiva e quella esperta (Figura 40).

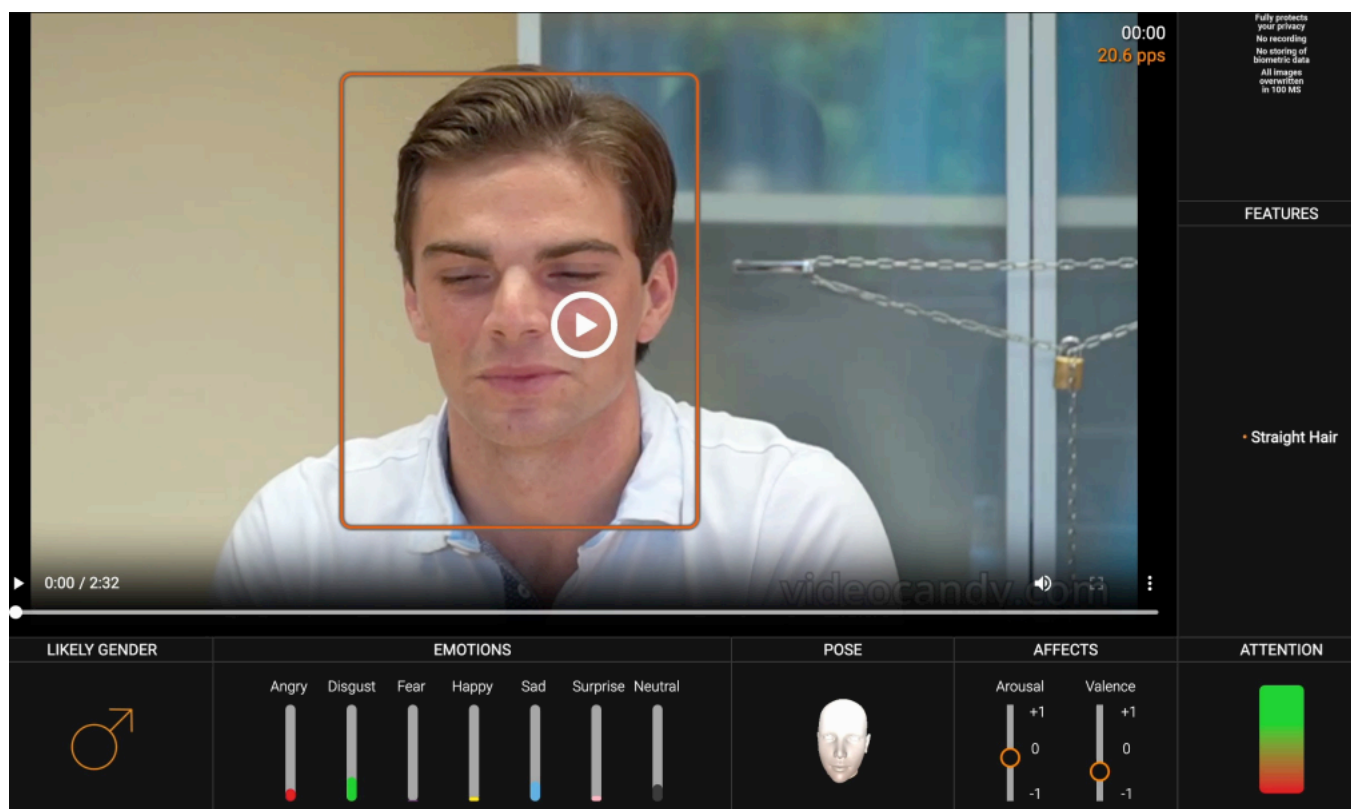


Figura 40: Analisi dell'intervista

L'indagine è stata condotta durante le selezioni ufficiali per l'ammissione al corso di Allievo Ufficiale presso l'Accademia della Marina Mercantile di Genova, coinvolgendo un gruppo di quindici candidati (dieci uomini e cinque donne) sottoposti a colloqui individuali con la commissione. Questo contesto, più naturale e psicologicamente coinvolgente rispetto alle simulazioni precedenti,

ha permesso di osservare reazioni autentiche in una situazione di moderata pressione emotiva, nella quale l'interazione con gli esaminatori attivava dinamiche relazionali e risposte affettive spontanee. Durante ciascun colloquio, la postazione è stata predisposta con una telecamera frontale ad alta risoluzione e un microfono direzionale, in modo da acquisire simultaneamente il volto, la voce e il linguaggio corporeo del candidato.

Al termine dell'intervista, a ogni partecipante è stato chiesto di compilare un questionario emozionale articolato in due sezioni: la prima composta da una lista di quaranta emozioni (Figura 41), valutate su una scala da zero ("per niente") a quattro ("moltissimo"), e la seconda costituita da un diagramma di Valence–Arousal, in cui gli studenti indicavano il grado di piacevolezza e di attivazione percepiti durante la prova (Figura 42).

QUESTIONARIO EMOTIVO : COME TI SEI SENTITO DURANTE L'ESERCITAZIONE?							
English	Italiano	Per niente: 0	Un po': 1	Abbastanza: 2	Molto: 3	Moltissimo: 4	Non so
Afraid	Paura						
Amused	Divertito						
Angry	Arrabbiato						
Annoyed	Infastidito						
Anxious	Ansioso						
Apathetic	Apatico						
Aroused	Eccitato						
Astonished	Stupito						
Bored	Annoiato						
Calm	Calma						
Conceited	Presuntuoso						
Contemplative	Contemplativo						
Content	Contento						
Convinced	Convinto						
Delighted	Incantato						
Depressed	Depresso						
Determined	Determinato						
Disappointed	Deluso						
Discontented	Scontento						
Distressed	Angosciato						
Embarrassed	Imbarazzato						
Enraged	Infuriato						
Excited	Eccitato						

Figura 41: Estratto del questionario di rilevazione degli intervistati

Le registrazioni sono state successivamente analizzate tramite Morphtcast, per la decodifica automatica delle espressioni facciali, e i risultati sono stati confrontati con i questionari soggettivi dei candidati e con le osservazioni qualitative degli esaminatori che avevano condotto il colloquio. L'analisi comparativa ha evidenziato una buona coerenza complessiva tra i tre livelli di valutazione (circa l'83% come documentato nel paper "*Quantifying human factor in ships operation via an AI-based emotions recognition*" [99]), con una particolare convergenza per emozioni di base come calma, concentrazione, interesse, sorpresa e ansia.

Le discrepanze maggiori sono emerse in corrispondenza di emozioni complesse o socialmente filtrate — come l'imbarazzo, l'orgoglio o la tensione controllata — che i candidati tendevano a mascherare consapevolmente o a esprimere in modo attenuato a causa del contesto formale.

The figure displays two visual scales for emotional assessment. The top scale, titled "The level of valence", asks the user to select a number from 1 to 9 that best describes their current level of happiness. It features a row of nine stick figures with varying facial expressions, ranging from "unpleasant" on the left to "pleasant" on the right. The bottom scale, titled "The level of arousal", asks the user to select a number from 1 to 9 that best describes their current level of arousal. It features a row of nine stick figures with varying levels of activity, ranging from "calm" on the left to "excited" on the right.

The level of valence
(Tell us which number of pictures best describes the level of happiness you feel right now)

unpleasant 1 2 3 4 5 6 7 8 9 pleasant

The level of arousal
(Tell us which number of pictures best describes the level of arousal you feel right now)

calm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 excited

Figura 42: Valutazione secondo la scala Valence Arousal

Queste differenze hanno offerto un interessante spunto interpretativo: le emozioni più sottili e culturalmente mediate risultano difficilmente codificabili da modelli standard, che tendono a privilegiare segnali universali e marcatori fisiognomici diretti.

Dal punto di vista metodologico, il terzo esperimento ha confermato la validità dell'analisi emozionale automatica, ma al tempo stesso ha sottolineato l'importanza della triangolazione multimodale come strumento di verifica e calibrazione.

Il confronto incrociato tra l'analisi oggettiva del software, l'autovalutazione soggettiva e la lettura esperta ha infatti permesso di distinguere con maggiore chiarezza le componenti emozionali effettivamente percepite da quelle solo ipotizzate dall'algoritmo, rendendo possibile una comprensione più fine e situata delle reazioni umane.

In questo senso, la sperimentazione ha rappresentato un primo passo verso un modello di analisi emozionale empiricamente fondato e scientificamente validabile, capace di integrare l'intelligenza artificiale con il giudizio umano e con la dimensione esperienziale dell'utente.

6.8.2. Sperimentazione presso il Campus di Design Navale di La Spezia

Il quarto esperimento è stato condotto presso il Campus universitario di La Spezia, coinvolgendo studenti del primo anno del corso di Laurea Magistrale in Design Navale e Nautico, con l'obiettivo

di consolidare e validare in modo sistematico il protocollo di analisi emozionale multimodale definito nelle fasi sperimentali precedenti (Figura 43).

A differenza delle prove svolte presso l'Accademia della Marina Mercantile, questa sperimentazione è stata progettata per verificare la replicabilità del metodo in un contesto didattico differente, ma comparabile per struttura relazionale (presentazione–valutazione) e per dinamiche di stress comunicativo.

Il campione era composto da nove studenti (cinque uomini e quattro donne), impegnati nella presentazione orale dei propri progetti di laboratorio di fronte a un gruppo di docenti e ricercatori. La situazione sperimentale presentava un livello di coinvolgimento emotivo moderato ma realistico: l'esposizione pubblica e la valutazione da parte di esperti costituiscono infatti condizioni tipiche in cui si attivano dinamiche di tensione, concentrazione, autocontrollo e risposta allo stress, particolarmente rilevanti per testare la sensibilità del sistema.



Figura 43: Esperimento al Campus di La Spezia

Ogni sessione, della durata di circa dieci minuti, è stata registrata in modo sincronizzato su due canali principali:

- video (inquadratura frontale), per l'analisi delle espressioni facciali;
- audio (microfono ambientale/direzionale), per l'analisi prosodica e paraverbale della voce.

Le registrazioni video sono state elaborate tramite Morphcast, adottando un approccio basato sul modello FACS per l'identificazione automatica di variazioni espressive e segnali affettivi.

In parallelo, i tracciati audio sono stati analizzati tramite HumeAI, con estrazione di indicatori prosodici e valutazione delle componenti emotive del parlato, utilizzando un set di parametri

coerente con approcci standardizzati (es. GeMAPS), utili a rilevare variazioni di intonazione, ritmo, intensità e timbro.

Accanto alla componente algoritmica, un antropologo esperto ha condotto una lettura qualitativa dei comportamenti non verbali e paraverbali (postura, gestualità, contatto visivo, micro-aggiustamenti corporei), con l'obiettivo di integrare l'interpretazione automatica con una valutazione umana contestuale, più sensibile alle sfumature socialmente mediate dell'espressione emotiva.

Infine, al termine di ciascuna presentazione, gli studenti hanno compilato un questionario di autovalutazione emozionale, includendo la localizzazione soggettiva dello stato vissuto su un piano *valence–arousal*.

Questa componente è stata essenziale per supportare la validazione incrociata, distinguendo tra segnali espressivi rilevati dall'algoritmo e percezione interna riportata dal soggetto.

I risultati hanno mostrato una dinamica ricorrente e coerente con la natura della performance: nella fase iniziale dell'esposizione si osserva tipicamente un aumento dell'attivazione (*arousal*), associato a tensione e concentrazione, seguito da una progressiva stabilizzazione o riduzione dell'attivazione in prossimità della conclusione, soprattutto in presenza di feedback percepito come positivo o in condizioni di maggiore padronanza del discorso.

Tale andamento — anticipazione → picco → rilascio — è emerso in modo sufficientemente consistente da costituire un pattern utile alla calibrazione del modello.

Il confronto tra i tre livelli di analisi (algoritmico, soggettivo, esperto) ha evidenziato un'elevata coerenza generale, pur con differenze interpretative nei casi caratterizzati da:

- espressività facciale limitata,
- tono vocale tendenzialmente neutro,
- strategie consapevoli di autocontrollo (tipiche dei contesti valutativi).

In particolare, la lettura antropologica ha permesso di individuare segnali sottili non sempre catturati dai software (variazioni posturali, micromovimenti compensativi, oscillazioni del contatto visivo), confermando il valore complementare dell'osservazione umana e rafforzando l'impostazione di triangolazione.

Nel complesso, la sperimentazione di La Spezia ha rappresentato un passaggio decisivo verso un modello di analisi più robusto, segnando il consolidamento di un approccio multimodale in Late Fusion, in cui dati provenienti da canali differenti vengono sincronizzati e integrati per costruire un profilo emozionale unitario.

L'integrazione sistematica di volto, voce, autovalutazione e lettura esperta ha aumentato l'affidabilità interpretativa e ridotto il rischio di sovra-interpretazione degli output algoritmici.

Coerentemente con il paradigma Designer in the Loop, l'intelligenza artificiale non è stata impiegata come sistema valutativo autonomo, ma come supporto analitico, i cui risultati richiedono interpretazione critica e contestualizzazione.

L'esperimento ha quindi confermato che la validazione dell'analisi emozionale, in contesti reali e socialmente complessi, richiede un approccio integrato e supervisionato, in cui l'output dell'AI costituisce un'indicazione utile, ma non autosufficiente.

6.8.3. Collaborazione con DRASS

Parallelamente alle sperimentazioni condotte in ambito accademico, la collaborazione con DRASS S.p.A., azienda leader nella progettazione di sistemi iperbarici e subacquei, ha aperto una linea di ricerca industriale specifica sull'impiego dei parametri respiratori come indicatori dello stato emotivo e cognitivo dell'operatore in immersione.

Cognitive Function	Acute Impact of Recreational Diving	Chronic Impact of Recreational Diving	Acute Effect of Saturation Diving	Chronic Effects of Saturation Diving
Alertness	+/-	+	+/-	no data
Sensing	no data	no data	+/-	no data
Time of reaction	+/-	no data	+/-	no data
Perception	+/-	+	+/-	no data
Memory	+/-	+	+/-	no data
Learning	no data	+	no data	no data
Thinking	+/-	no data	no data	no data
Decision making *	no data	no data	no data	no data
+ / (-) transient effect; (+) observed cognitive function disturbance				
* Decision making is an indispensable cognitive function for propelling survival instinct in life-threatening situations that may be unavoidable in any underwater activity.				
Sharma, Rita I., Anna B. Marcinkowska, Natalia D. Mankowska, Monika Wańkow, Jacek Kot, and Paweł J. Winkowski. 2023. "Cognitive Functions in Scuba, Technical and Saturation Diving." <i>Biology</i> 12 (2): 229. https://doi.org/10.3390/biology12020229 .				

Figura 44: Influenza delle varie tipologie di immersione sulle funzioni cognitive

Il contesto subacqueo presenta infatti condizioni operative peculiari che rendono inaccessibili molti dei canali comunemente utilizzati per l'analisi emozionale. Il volto dell'operatore è coperto dal casco, mentre la comunicazione verbale risulta fortemente alterata dalle caratteristiche della propagazione acustica in ambiente iperbarico. In tali condizioni, diventa necessario individuare segnali fisiologici alternativi, affidabili e monitorabili in tempo reale, in grado di fornire informazioni sullo stato psico-fisiologico del sommozzatore (Figura 45).

L'attenzione della ricerca si è quindi concentrata sulla frequenza respiratoria (*breath rate*) e sulla variabilità del ritmo respiratorio (*Breath Rate Variability – BRV*), parametri ampiamente riconosciuti in letteratura come correlati ai livelli di stress, carico cognitivo e attivazione emotiva (Figura 44).

Grazie ai sensori integrati nei sistemi respiratori sviluppati da DRASS, è stato possibile acquisire in tempo reale i dati respiratori degli operatori e analizzarne l'andamento in relazione alle diverse condizioni operative. I risultati preliminari hanno evidenziato una correlazione significativa tra l'aumento del ritmo respiratorio e stati di tensione o ansia, mentre una maggiore regolarità del respiro tende a manifestarsi durante le fasi di stabilizzazione dell'attività.

Queste osservazioni hanno consentito di sviluppare un modello predittivo preliminare per la stima del livello di stress del sommozzatore, concepito come base per futuri sistemi di supporto e allerta precoce.



Figura 45: Variazione del breath rate durante operazioni in immersione

In prospettiva, l'analisi del respiro si configura come una delle vie più promettenti per lo sviluppo di interfacce adattive orientate alla sicurezza subacquea, capaci di integrare segnali fisiologici in tempo reale e di segnalare tempestivamente condizioni di potenziale rischio.

La collaborazione con DRASS prosegue infatti con l'obiettivo di integrare i moduli di analisi emozionale all'interno dei sistemi di monitoraggio iperbarico già impiegati in ambito formativo e nelle attività di manutenzione offshore. Dal punto di vista metodologico, questa sperimentazione ha rappresentato un banco di prova particolarmente significativo per il paradigma Designer in the Loop, consentendo di verificarne l'efficacia in un contesto industriale regolamentato e safety-critical. In particolare, le attività svolte hanno confermato che:

- l'intelligenza artificiale opera esclusivamente come sistema di supporto alle decisioni;

- il progettista mantiene il pieno controllo sulle scelte progettuali e interpretative;
- il processo risulta documentabile e tracciabile attraverso il fascicolo progettuale.

Parametro Respiratorio		Stato Emotivo Correlato	
↑	Frequenza Respiratoria in aumento	😬	Attivazione fisiologica, tensione, ansia in contesto operativo
↓	Frequenza Respiratoria in diminuzione	😴	Rilassamento, ritrovata stabilità dopo operazione complessa
✕	Variabilità del Ritmo Respiratorio (BRV) elevata	🧐	Carico cognitivo, attenzione prolungata, gestione del rischio
↓	Variabilità del Ritmo Respiratorio (BRV) ridotta	😊	Stabilità emotiva, diminuzione carico cognitivo

Figura 46: Parametri respiratori e stati emotivi correlati

L’ecosistema multi-agente si è dimostrato efficace nel supportare le fasi di analisi preliminare e concept design, offrendo strumenti di esplorazione e confronto senza interferire con i processi decisionali critici, che rimangono di esclusiva competenza umana.

Questa attività ha confermato la trasferibilità del metodo Designer in the Loop a contesti industriali ad alta complessità, evidenziando la compatibilità tra innovazione progettuale, requisiti di sicurezza e conformità normativa.

Nonostante i risultati incoraggianti, la sperimentazione ha evidenziato alcuni limiti metodologici.

Un grosso limite riguarda l’assenza di una baseline individuale preventiva, che avrebbe consentito una normalizzazione più accurata delle risposte emotive. In prospettiva, l’introduzione di fasi di calibrazione personalizzata, il miglioramento del setup di acquisizione e l’integrazione di ulteriori segnali fisiologici (heart rate, conduzione cutanea, rigidità dei movimenti, ...) potrebbero rafforzare ulteriormente l’affidabilità e la trasferibilità del protocollo.

6.9. Caso di sintesi: il progetto On Watch

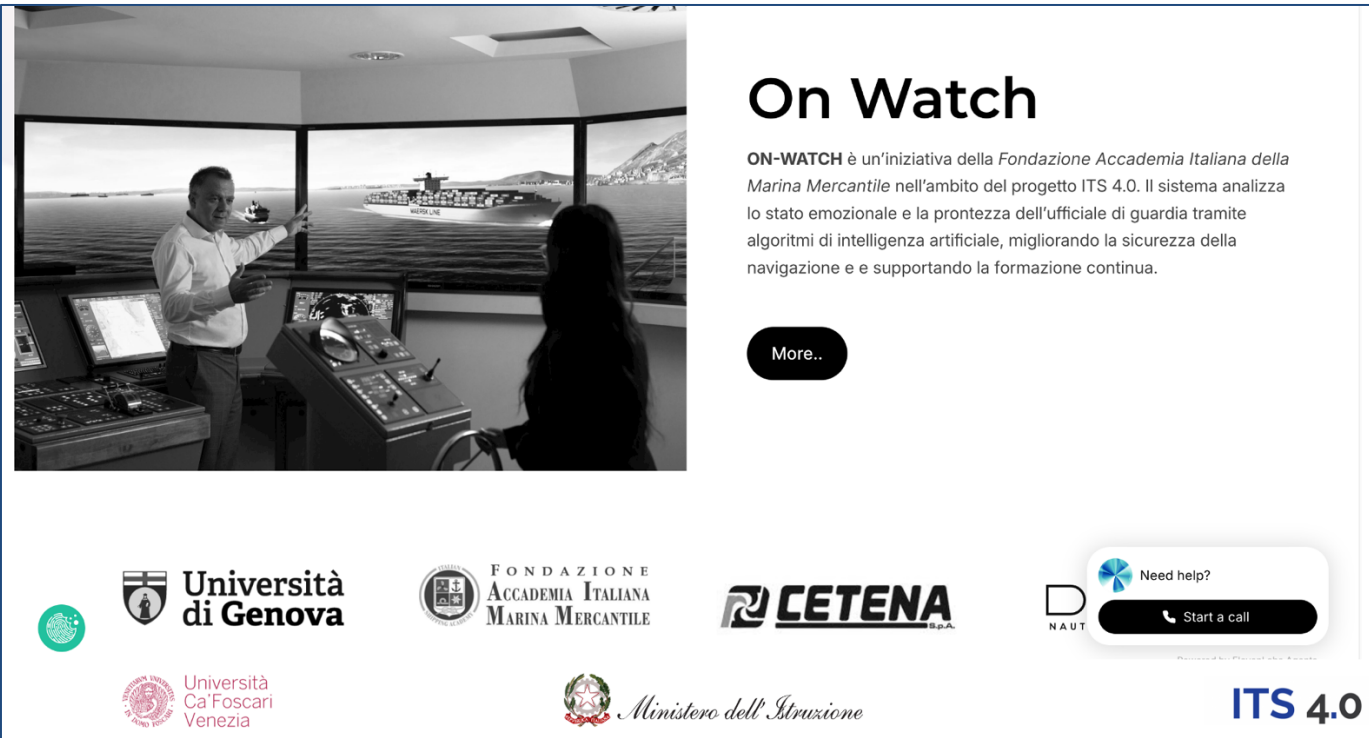
Il progetto *On Watch* rappresenta il caso di sintesi più avanzato delle sperimentazioni condotte nel corso della ricerca di dottorato, in quanto integra in un unico framework coerente il paradigma *Designer in the Loop*, le tecniche di analisi emozionale e fisiologica, l’uso di sistemi di intelligenza artificiale e la loro applicazione in un contesto *safety-critical* reale, quale la guardia di navigazione.

Il progetto nasce nell’ambito della ITS 4.0 Challenge 2025 – “Progetti che orientano il futuro della filiera”, promossa dal Ministero dell’Istruzione e del Merito (MIM) in collaborazione con l’Università Ca’ Foscari Venezia. L’iniziativa ha coinvolto, a livello nazionale, 34 Fondazioni ITS Academy, istituti superiori della filiera tecnologico-professionale 4+2, 34 imprese partner e circa 500 studenti,

configurandosi come uno dei principali programmi italiani di sperimentazione e trasferimento tecnologico in ambito formativo avanzato.

All'interno di questo contesto competitivo e istituzionale, *On Watch* è stato sviluppato dall'ITS 4.0 – Fondazione Accademia Italiana della Marina Mercantile come progetto pilota orientato alla sicurezza marittima e alla valorizzazione del fattore umano nei sistemi complessi, in collaborazione con l'IIS Nautico Sangiorgio di Genova e il centro di ricerca sperimentale CETENA.

Il progetto è stato presentato ufficialmente al *Job&Orienta* di Verona nel novembre 2025, come esempio di integrazione tra formazione, ricerca applicata e intelligenza artificiale human-centred (Figura 47).



On Watch

ON-WATCH è un'iniziativa della *Fondazione Accademia Italiana della Marina Mercantile* nell'ambito del progetto ITS 4.0. Il sistema analizza lo stato emozionale e la prontezza dell'ufficiale di guardia tramite algoritmi di intelligenza artificiale, migliorando la sicurezza della navigazione e supportando la formazione continua.

More..

Università di Genova

Università Ca' Foscari Venezia

FONDAZIONE ACCADEMIA ITALIANA MARINA MERCANTILE

CETENA

Ministero dell'Istruzione

Need help? Start a call

ITS 4.0

Figura 47: Progetto ITS 4.0 del MIM

Numerosi studi e report internazionali evidenziano come una quota significativa degli incidenti marittimi sia riconducibile a errori umani, spesso correlati a stati di stress disfunzionale, affaticamento cognitivo, perdita di attenzione o sovraccarico informativo. Nonostante l'elevato livello di automazione dei moderni sistemi di bordo, le procedure di valutazione del rischio continuano a basarsi prevalentemente su parametri tecnici e statistici, trascurando lo stato psicofisiologico dell'operatore come variabile dinamica e situata.

A partire dalle evidenze emerse nelle sperimentazioni precedenti della presente ricerca (analisi emozionale multimodale, contesti formativi avanzati, collaborazione con DRASS), *On Watch* si propone di colmare questa lacuna attraverso lo sviluppo di un sistema di supporto alla formazione e alla

sicurezza, concepito non come strumento di controllo, ma come dispositivo di consapevolezza e prevenzione.

6.9.1. Contesto sperimentale

La sperimentazione principale del progetto è stata condotta presso il simulatore di plancia di comando, attraverso la simulazione di uno scenario di emergenza di recupero uomo in mare (Man Overboard).

Lo scenario ha coinvolto più ruoli operativi, ciascuno caratterizzato da responsabilità e carico cognitivo differenti:

- Comandante, responsabile delle decisioni critiche;
- Co-navigator, incaricato del supporto alla manovra e al coordinamento;
- Marinaio di vedetta, coinvolto nella rilevazione e segnalazione dell'emergenza.

Durante la simulazione, i partecipanti sono stati ripresi e registrati tramite sistemi audio-video sincronizzati, al fine di analizzare:

- comportamento operativo e interazioni;
- segnali facciali e posturali;
- parametri vocali e prosodici;
- contenuti verbali e dinamiche comunicative.

L'obiettivo non era valutare la performance individuale, ma osservare come stati emotivi e cognitivi emergano e si modifichino in situazioni di pressione operativa, e come tali informazioni possano essere restituite in modo utile e non intrusivo ai formatori.

6.9.2. Fase preliminare e resistenze culturali

Prima della sperimentazione sul simulatore, il progetto ha previsto una fase esplorativa qualitativa, basata su interviste fatta con un agente conversazionale AI appositamente creato a dieci professionisti con ruoli analoghi a quelli simulati (ufficiali di coperta, comandanti, personale di guardia). Questa fase aveva l'obiettivo di comprendere:

- la percezione di utilità di un sistema di monitoraggio dello stato umano;
- le condizioni di accettabilità operativa;
- le criticità etiche e organizzative percepite dal personale di bordo.

Dalle interviste è emersa in modo chiaro una resistenza significativa all'idea di essere filmati e analizzati durante l'attività lavorativa, anche a fronte di potenziali benefici in termini di prevenzione degli incidenti. Tale resistenza è riconducibile a fattori quali:

- timore di sorveglianza e valutazione disciplinare;

- Questo risultato, lungi dall'essere marginale, ha avuto un ruolo centrale nell'evoluzione progettuale di On Watch, orientando in modo esplicito il sistema verso un approccio formativo, non prescrittivo e human-centred, coerente con i principi del Designer in the Loop e con il quadro normativo dell'AI Act.

All'interno del progetto, questa visione si concretizza nello sviluppo di un prototipo software denominato *Human State Monitoring System (HSMS)*, concepito come piattaforma sperimentale per l'analisi multimodale dello stato emotivo e cognitivo dell'operatore durante simulazioni e attività addestrative (Figura 48).



Il sistema non produce giudizi automatici né classificazioni dell'operatore, ma genera segnali di attenzione (alert) non prescrittivi, configurabili in base allo scenario e alla fase della manovra.

- ridurre il rischio di falsi positivi;

- evitare interferenze operative;
- supportare la consapevolezza del formatore e dell'equipaggio.

L'interpretazione e l'eventuale decisione rimangono sempre di esclusiva competenza umana.

Dal punto di vista architetturale, HSMS si basa su una piattaforma multimodale e multi-agente, articolata in tre livelli funzionali (acquisizione dati, analisi interpretativa, sintesi e visualizzazione), orchestrati da un coordinator agent centrale privo di funzioni decisionali autonome.

6.9.4. Valore metodologico e prospettive

Il progetto On Watch rappresenta una validazione concreta del paradigma Designer in the Loop in un contesto ad alta complessità e forte sensibilità normativa. Il sistema è concepito esclusivamente come strumento di supporto formativo e non come dispositivo di controllo del lavoratore, in linea con i principi di trasparenza, responsabilità e controllo umano promossi dall'AI Act e dal GDPR.

L'esperienza maturata dimostra come la progettazione di interfacce empatiche di sicurezza richieda non solo competenze tecnologiche, ma una profonda comprensione delle dinamiche culturali, organizzative ed emotive del lavoro marittimo. In questo senso, On Watch costituisce un primo passo verso una nuova generazione di sistemi *human-centred* per la sicurezza marittima, estendibili anche ad altri domini *safety-critical* caratterizzati da elevata complessità decisionale.

Blocco E – Sintesi e validazione

6.10. Sintesi delle sperimentazioni e validazione del paradigma Designer in the Loop

Le sperimentazioni presentate nel Capitolo 6 permettono di valutare in modo comparativo il paradigma Designer in the Loop in diverse condizioni: dalla raccolta dei requisiti alla generazione di alternative, fino a scenari operativi ad alta responsabilità. Nel loro insieme, i casi studio mostrano che l'AI contribuisce in modo significativo quando è integrata in un workflow governato dall'umano: riduce il carico operativo di ricerca e organizzazione, accelera l'esplorazione di alternative e rende più espliciti passaggi intermedi che, nei processi tradizionali, restano spesso impliciti.

Al contempo, le sperimentazioni evidenziano che l'efficacia non dipende dall'autonomia del sistema, ma dalla qualità dell'interazione: gli output dell'AI acquistano valore solo se interpretati criticamente, contestualizzati e "chiusi" da decisioni umane. In questa prospettiva, la centralità del designer non è un vincolo, ma la condizione che rende l'AI utilizzabile e trasferibile in domini complessi e regolamentati. (Tabella 15).

Tabella 15: Validazione del paradigma Designer in the Loop attraverso le sperimentazioni

SPERIMENTAZIONE	FASE DEL METODO	RUOLO DELL'AI	RUOLO DEL DESIGNER	EVIDENZA DI VALIDAZIONE	LIMITI
INTERVISTE AUMENTATE	Empathize / Define	Analisi multimodale, sintesi semantica	Interpretazione, definizione requisiti	Riduzione ambiguità, maggiore strutturazione dei requisiti	Bias dati, dipendenza dal contesto
PERSONA E BENCHMARK	Define	Aggregazione e clustering informazioni	Selezione criteri rilevanti	Supporto alla costruzione di scenari progettuali	Generalizzabilità limitata
ECOSISTEMA MULTI-AGENTE	Ideate	Orchestrazione e supporto alla generazione/valutazione preliminare	Controllo decisionale e selezione	Tracciabilità del processo, riduzione iterazioni	Dipendenza qualità input
FASCICOLO PROGETTUALE	Ideate / Test	Organizzazione e sintesi dati	Validazione e confronto soluzioni	Trasparenza e spiegabilità delle decisioni	Complessità gestionale
ON WATCH	Test / Safety	Supporto informativo/alert non prescrittivi	Supervisione e responsabilità	Miglioramento consapevolezza situazionale	Dominio applicativo specifico
ML PER SCAFO	Ideate / Test	Predizione prestazioni preliminari	Scelta e raffinamento concept	Riduzione esplorazione inefficiente	Dipendenza dal dataset

Un elemento trasversale riguarda i limiti strutturali: dipendenza dalla qualità dei dati, rischio di bias, instabilità degli output generativi e scarsa generalizzabilità fuori dominio. Tali limiti non invalidano

l'approccio, ma indicano che l'integrazione dell'AI richiede punti di controllo, tracciabilità e supervisione continua. In questo senso, il Capitolo 6 valida il paradigma Designer in the Loop come assetto metodologico che rende l'AI utile senza renderla autorità, preservando responsabilità, affidabilità e conformità in contesti complessi.

6.11. Conclusioni e prospettive di sviluppo

Il Capitolo 6 ha discusso una serie di sperimentazioni volte a esplorare e validare il paradigma Designer in the Loop nel contesto della progettazione nautica e in scenari operativi correlati. L'esito principale è che l'intelligenza artificiale risulta efficace non come generatore di soluzioni "finali", ma come infrastruttura di supporto che amplia la capacità del progettista di organizzare informazione, esplorare alternative e motivare decisioni.

L'introduzione di architetture integrate (ecosistema multi-agente e fascicolo progettuale) consente di trasformare strumenti eterogenei in un workflow coerente, in cui ogni output è documentabile, verificabile e sottoposto a validazione umana. Questa impostazione diventa particolarmente rilevante quando il contesto è safety-critical: qui la qualità del processo (tracciabilità, controllo umano, gestione dell'errore) è parte integrante della qualità della soluzione.

In conclusione, il paradigma Designer in the Loop emerge come modello operativo per una collaborazione responsabile tra intelligenza umana e artificiale: preserva creatività e giudizio, aumenta la robustezza decisionale e rende più trasferibile l'innovazione in contesti regolamentati. I risultati del Capitolo 6 costituiscono la base per le riflessioni del capitolo successivo, orientate a consolidare metodi, criteri e requisiti per l'adozione dell'AI nel design nautico e in applicazioni ad alta responsabilità.

7. Discussione critica dei risultati

Il presente capitolo ha l'obiettivo di discutere criticamente i risultati emersi nel corso delle sperimentazioni presentate nella Parte II, collocandoli all'interno del quadro teorico e metodologico delineato nella Parte I e valutandone la rilevanza alla luce del paradigma Designer in the Loop. Piuttosto che proporre una sintesi descrittiva delle singole applicazioni, la discussione si concentra sull'interpretazione complessiva dei risultati, mettendone in evidenza implicazioni, limiti strutturali e potenzialità future nei contesti progettuali complessi, formativi e safety-critical.

L'elemento unificante delle sperimentazioni non risiede tanto negli strumenti adottati — eterogenei per finalità, scala e grado di maturità — quanto nell'approccio metodologico sottostante: l'impiego dell'intelligenza artificiale come supporto cognitivo e analitico all'interno di processi progettuali governati dall'essere umano. In questo senso, la ricerca si distanzia esplicitamente da modelli orientati all'automazione del progetto o alla sostituzione del giudizio umano, proponendo invece un assetto in cui la generazione automatica di output è costantemente mediata, interpretata e validata dal progettista.

Un ruolo centrale in questa discussione è svolto dall'adozione di un approccio multimodale all'analisi degli stati emotivi e cognitivi, che integra segnali facciali, vocali, fisiologici indiretti e autovalutazioni soggettive. I risultati ottenuti attraverso tale integrazione vengono qui analizzati non solo in termini di prestazioni tecniche, ma soprattutto rispetto alla loro interpretabilità, affidabilità situata e trasferibilità in contesti reali. Questa prospettiva consente di evidenziare come il valore dell'Emotion AI emerga pienamente solo quando i suoi output sono inseriti all'interno di un processo progettuale human-centred, dotato di strumenti di controllo, tracciabilità e responsabilità.

Il capitolo affronta quindi in modo sistematico:

i limiti tecnologici intrinseci agli attuali sistemi di Emotion AI;

le criticità metodologiche e operative emerse durante le sperimentazioni;

i contributi scientifici originali della ricerca;

le prospettive di sviluppo future, sia sul piano tecnologico sia su quello metodologico e normativo.

In questo quadro, la discussione mira a chiarire il posizionamento della ricerca rispetto allo stato dell'arte e a motivare la rilevanza del paradigma Designer in the Loop come framework operativo per l'integrazione responsabile dell'AI nei processi progettuali contemporanei.

7.1. Limiti tecnologici dell'Emotion AI

Nonostante i risultati incoraggianti, l'analisi critica ha messo in luce limiti strutturali intrinseci agli attuali sistemi di Emotion AI.

È fondamentale sottolineare che strumenti come Morphcast, HumeAI e OpenFace non “leggono” le emozioni nel senso psicologico del termine, ma riconoscono pattern espressivi attraverso modelli probabilistici addestrati su dataset specifici.

Le espressioni facciali e vocali risultano fortemente influenzate da variabili culturali, individuali e contestuali: un sorriso non indica necessariamente felicità, così come un tono di voce elevato non corrisponde sempre a rabbia o paura. Inoltre, modelli pre-addestrati su dataset non bilanciati tendono a ereditare bias di origine, limitando la generalizzabilità delle predizioni. Anche piattaforme avanzate come HumeAI segnalano difficoltà nell'interpretare inflessioni linguistiche atipiche o contesti poco rappresentati nel training.

Questi limiti spiegano perché, nonostante accuratezze medie comprese tra il 70% e l'80% nei test standard di FER, nessun sistema attuale possa essere considerato infallibile. La fusione multimodale è stata introdotta proprio per mitigare tali criticità: combinare dati facciali, vocali e testuali riduce il rischio di falsi positivi e negativi, migliorando la qualità interpretativa complessiva. I risultati ottenuti confermano la validità di questa strategia, coerentemente con quanto riportato nella letteratura scientifica.

Resta tuttavia aperta la questione della validazione su larga scala: finora gli esperimenti sono stati condotti in condizioni controllate o semi-controllate. Per una reale applicazione in ambito marittimo sarà necessario estendere i test a contesti dinamici, caratterizzati da rumore ambientale, vibrazioni, stress operativo e variabilità individuale elevata.

7.2. Criticità metodologiche e operative

Accanto ai limiti tecnologici, la ricerca ha messo in evidenza una serie di criticità metodologiche e operative che hanno influenzato l'impostazione e l'evoluzione delle sperimentazioni.

Tra le principali difficoltà emerse si segnalano le limitazioni infrastrutturali, legate all'assenza di risorse hardware dedicate (GPU e workstation ad alte prestazioni), che hanno imposto l'adozione di pipeline ottimizzate e analisi prevalentemente post-sessione.

Ulteriori criticità hanno riguardato la sincronizzazione dei flussi audio e video, inizialmente gestita tramite marker manuali e successivamente automatizzata, e le condizioni ambientali non completamente controllabili, che hanno inciso sulla qualità dei dati raccolti. A ciò si aggiungono le dimensioni ridotte dei campioni sperimentali, che hanno favorito un'analisi qualitativa approfondita ma non consentono generalizzazioni statistiche robuste.

Un elemento rilevante è stato infine rappresentato dall'iter di approvazione etica presso il Comitato Etico per la Ricerca di Ateneo. Sebbene complesso e temporalmente oneroso, tale processo ha contribuito a definire un modello operativo conforme al GDPR e ai principi emergenti dell'AI Act, rafforzando la solidità metodologica della ricerca e la replicabilità futura delle sperimentazioni basate su dati biometrici sensibili.

7.3. Contributi scientifici e originalità della ricerca

Nel corso dei tre anni di ricerca, il progetto si è evoluto da un'indagine esplorativa sul ruolo delle emozioni nel design esperienziale a un framework metodologico strutturato per l'integrazione dell'intelligenza artificiale in contesti progettuali complessi e safety-critical.

I principali contributi scientifici possono essere sintetizzati in tre elementi fondamentali. In primo luogo, l'integrazione teorica multidisciplinare tra modelli psicologici delle emozioni, affective computing e design research applicati al dominio nautico. In secondo luogo, la formalizzazione del paradigma Designer in the Loop, che definisce in modo operativo il ruolo del progettista come interprete critico e responsabile degli output dell'AI. In terzo luogo, la sperimentazione applicata di tali principi attraverso strumenti concreti e casi studio reali, che dimostrano la fattibilità tecnica e metodologica dell'approccio.

Rispetto alla letteratura esistente, l'originalità della ricerca risiede non solo nell'applicazione al dominio nautico, ma soprattutto nell'integrazione sistematica di componenti qualitative — come la validazione antropologica — all'interno di pipeline tecnologiche avanzate, superando una visione esclusivamente data-driven del riconoscimento emozionale.

7.4. Prospettive di sviluppo e conclusioni

Alla luce dei risultati discussi e dei limiti emersi, la ricerca conferma che l'integrazione tra intelligenza artificiale, analisi emozionale e progettazione human-centred rappresenta una direzione promettente, ma richiede un approccio metodologico rigoroso e responsabile. Le prospettive future includono l'integrazione di nuovi sensori biometrici (EEG, eye-tracking, GSR, fNIRS), l'uso di ambienti immersivi AR/VR per la validazione progettuale e lo sviluppo di architetture edge-oriented per garantire privacy by design e conformità normativa.

Dal punto di vista concettuale, il passaggio dal modello Human in the Loop al paradigma Designer in the Loop emerge come una svolta metodologica rilevante: il progettista non è più semplice supervisore dell'automazione, ma diventa mediatore consapevole tra algoritmi, utenti e contesti operativi. In questa prospettiva, l'intelligenza artificiale non sostituisce l'esperienza umana, ma la amplifica, trasformando il dato emozionale in conoscenza progettuale condivisa.

Il Capitolo 7 conclude pertanto il lavoro di dottorato sintetizzandone i principali contributi teorici e applicativi e delineando un quadro aperto di sviluppo futuro. La ricerca non propone soluzioni definitive, ma definisce un framework evolutivo, adattabile a scenari caratterizzati da crescente automazione, requisiti normativi stringenti e attenzione sempre maggiore al fattore umano. In questo senso, il percorso intrapreso non rappresenta un punto di arrivo, ma una base solida per ulteriori sviluppi interdisciplinari e applicazioni in altri domini *safety-critical*.

APPENDICI

APPENDICE A. Metodi per il riconoscimento delle emozioni

A.1. Analisi facciale: il Facial Action Coding System (FACS)

Le espressioni facciali rappresentano uno dei canali più diretti attraverso cui gli esseri umani comunicano emozioni, stati mentali e intenzioni. Le basi teoriche del riconoscimento facciale delle emozioni risalgono alle ricerche di Charles Darwin (*The Expression of the Emotions in Man and Animals*, 1872), secondo cui le espressioni emotive hanno una radice biologica condivisa.

Nel XX secolo, Paul Ekman e Wallace V. Friesen [50] hanno formalizzato la teoria neuroculturale delle emozioni, individuando un insieme di emozioni di base universalmente riconoscibili, pur soggette a modulazioni culturali nelle modalità espressive (*display rules*). Da tali studi nasce il Facial Action Coding System (FACS), un sistema di codifica che scompone le espressioni facciali in Action Units (AUs), ciascuna associata alla contrazione di specifici muscoli facciali [51].

Il FACS consente di descrivere il volto umano in termini oggettivi e misurabili, rendendo possibile l'analisi comparativa delle espressioni. Con l'avvento della computer vision e del machine learning, la codifica manuale è stata progressivamente sostituita da sistemi automatici capaci di riconoscere le AUs in tempo reale.

Nel presente studio sono stati utilizzati Morphcast [W20] e OpenFace [D15], entrambi basati su FACS, in grado di rilevare micro-espressioni e variazioni di valenza e arousal.

In Tabella 16 sono riportati pregi e limiti di tale metodologia.

Tabella 16: Pregi e limiti del FACS

PREGI	LIMITI
<i>Metodo standardizzato e non intrusivo</i>	Sensibile a illuminazione e postura
<i>Adatto a campioni multiculturali</i>	Richiede immagini di qualità
<i>Analisi dettagliata dei movimenti muscolari</i>	Emozioni complesse talvolta ambigue

L'affidabilità del FACS aumenta sensibilmente quando integrato con altri canali, come voce e dati fisiologici, secondo l'approccio multimodale adottato in questa ricerca.

A.2. Analisi vocale: Speech Emotion Recognition (SER)

La voce costituisce un indicatore privilegiato dello stato emotivo, poiché riflette variazioni fisiologiche legate a stress, eccitazione o affaticamento. Il Speech Emotion Recognition (SER) [54] utilizza algoritmi

di machine learning per analizzare le caratteristiche acustiche del parlato e inferire lo stato emotivo sottostante.

Il processo di SER comprende:

- acquisizione del segnale vocale;
- pre-elaborazione e normalizzazione;
- estrazione delle feature acustiche;
- classificazione emotiva.

Nel presente studio è stato adottato il Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS), che consente una descrizione interpretabile e standardizzata delle emozioni vocali.

A.3. Parametri acustici standardizzati: GeMAPS

Il GeMAPS include parametri di frequenza, energia, tempo e spettro, progettati per garantire robustezza ed efficienza computazionale. Oltre alla classificazione discreta delle emozioni, consente una rappresentazione dimensionale basata su **valenza, arousal e dominanza**, particolarmente adatta ai contesti operativi reali.

In Tabella 17 è possibile leggere pregi e limiti di tale metodologia.

Tabella 17: Vantaggi e limiti del GeMAPS

PREGI	LIMITI
<i>Standardizzazione internazionale</i>	Sensibile al rumore
<i>Elevata interpretabilità</i>	Richiede calibrazione
<i>Compatibilità multimodale</i>	Non cattura tutte le sfumature paralinguistiche

A.4. Sintesi conclusiva

L'integrazione tra FACS e GeMAPS, unita alla validazione antropologica e alle autovalutazioni soggettive, ha permesso di sviluppare un modello sperimentale robusto e replicabile, capace di coniugare rigore scientifico e profondità interpretativa nel contesto del design navale.

.

APPENDICE B. Strumenti e pipeline del sistema multimodale

L'Appendice B descrive l'architettura tecnica e la pipeline operativa dei sistemi multimodali e multi-agente sviluppati nel corso della ricerca. Le soluzioni presentate non configurano in alcun caso sistemi di decisione automatica, ma strumenti di supporto analitico e interpretativo. In coerenza con il paradigma *Designer in the Loop*, l'interpretazione dei risultati, la validazione degli output e ogni decisione progettuale o operativa restano sempre sotto controllo umano.

B.1. Struttura generale del sistema

Il sistema multimodale sviluppato nel corso della ricerca è stato progettato per analizzare in modo integrato i dati facciali, vocali e testuali derivanti dalle interazioni tra progettista e utente. L'obiettivo è fornire un modello operativo di *Designer in the Loop*, capace di raccogliere, elaborare e rappresentare le emozioni in modo trasparente e scientificamente fondato, al fine di supportare la fase di definizione dei requisiti e la successiva generazione di concept progettuali.

L'architettura è stata concepita come un ecosistema modulare e scalabile, composto da agenti software specializzati che interagiscono tra loro tramite protocolli standard e scambio di file JSON. Ogni agente esegue una funzione autonoma all'interno di una pipeline coordinata, in modo da mantenere chiarezza, tracciabilità e interoperabilità.

B.2. Componenti principali

1. Interfaccia utente e raccolta dati

La prima fase del processo è gestita attraverso un'interfaccia web sviluppata in Streamlit, che consente agli utenti (clienti o partecipanti) di:

- registrarsi e inserire i propri dati anagrafici (salvati su *Google Sheets*);
- avviare un'intervista vocale simulata tramite un widget ElevenLabs Conversational Agent;
- caricare o rivedere file audio e trascrizioni.

Questa fase costituisce la base per la raccolta dei dati vocali e facciali, garantendo un'interazione naturale con l'agente conversazionale e una prima acquisizione del materiale sperimentale.

2. Analisi vocale e trascrizione automatica

I file audio vengono elaborati mediante l'API di ElevenLabs, che fornisce:

- la trascrizione automatica del parlato (con identificazione dei turni di dialogo);
- un riassunto sintetico della conversazione, utile per la sezione testuale del report;
- la segmentazione temporale del file audio, per consentire la sincronizzazione con il canale video.

Queste informazioni vengono salvate in formato JSON e costituiscono l'input per le successive analisi emozionali e linguistiche.

3. Analisi emozionale multimodale

La fase di analisi emozionale è realizzata attraverso l'integrazione dei dati provenienti da:

- HumeAI, per il riconoscimento delle emozioni vocali basato sul set acustico GeMAPS;
- Morphcast o OpenFace, per il riconoscimento facciale secondo il modello FACS;
- Questionari di autovalutazione, per la validazione soggettiva;
- Analisi antropologica esperta, per l'interpretazione qualitativa dei comportamenti non verbali.

I risultati dei singoli canali vengono fusi in un modello di Late Fusion, che consente di generare un profilo emozionale unitario, rappresentato graficamente attraverso:

- un grafico a barre delle emozioni prevalenti;
- un grafico a torta della distribuzione complessiva;
- una timeline emozionale che mostra la variazione nel tempo degli stati emotivi.

4. Requirement Extraction e sintesi tecnica

I dati testuali provenienti dalla trascrizione vengono elaborati dal Requirement Extractor Agent, un agente basato su modello linguistico (LLM) che:

- identifica le specifiche tecniche dell'imbarcazione desiderata (tipologia, dimensioni, materiali, numero di passeggeri, finalità d'uso);
- distingue le preferenze estetiche e le criticità espresse;
- restituisce un file JSON strutturato, utile per l'aggiornamento del database e per la generazione automatica del report PDF.

Questa fase permette di trasformare i dati conversazionali in informazioni progettuali concrete, riducendo l'ambiguità informativa e supportando il progettista nella strutturazione dei requisiti.

5. Generazione del report finale (PDF Composer)

Tutti i dati elaborati confluiscono nel PDF Composer Agent, che combina:

- anagrafica utente e sintesi della conversazione;
- specifiche tecniche dell'imbarcazione;
- risultati dell'analisi emozionale (grafici e commenti);
- osservazioni dell'esperto e valutazioni generali.

Il report finale, completo di logo e impaginazione personalizzata, viene generato in formato PDF e inviato automaticamente al progettista tramite email, grazie all'integrazione con Google Mail API.

6. Database e automazioni

I dati vengono archiviati in Google Sheets, organizzati in due fogli principali:

- ANAGRAFICA_UTENTE – contiene i dati personali e i riferimenti di contatto;
- REQUISITI_IMBARCAZIONE – raccoglie le specifiche tecniche estratte dai dialoghi.
- Le automazioni sono gestite tramite Make.com, che coordina i flussi tra agenti, database e sistemi di notifica, garantendo aggiornamento e tracciabilità dei processi.

B.3. Pipeline operativa

Il funzionamento complessivo del sistema può essere sintetizzato nel seguente schema logico:

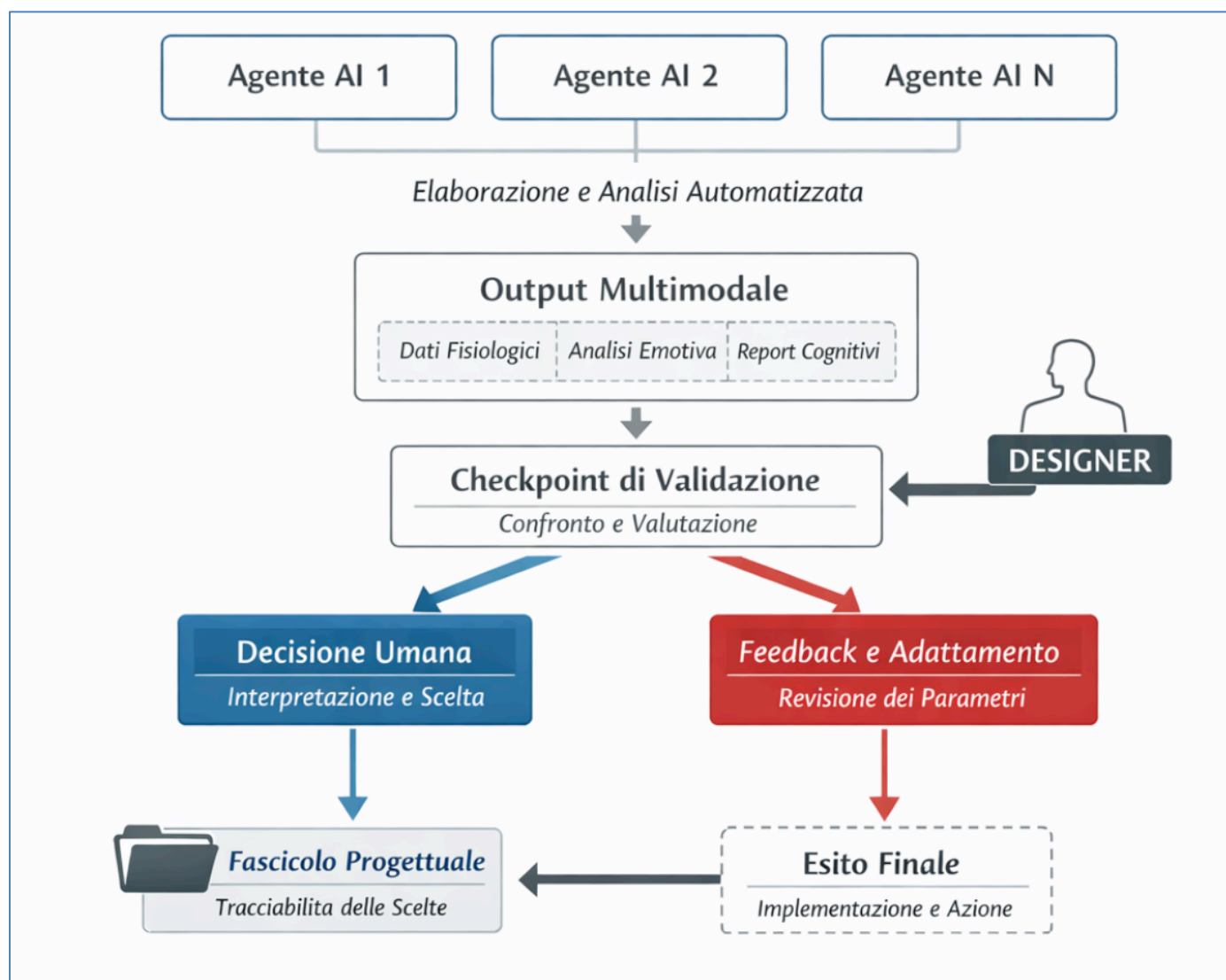


Figura 49: Pipeline operativa del sistema Designer in the Loop (DITL)

Questa pipeline rappresenta il nucleo operativo del modello Designer in the Loop, in cui il progettista riceve un documento sintetico ma completo, capace di unire i dati emotivi e cognitivi del cliente con le informazioni tecniche necessarie alla progettazione.

Il sistema è stato testato in più iterazioni, garantendo robustezza del flusso, interoperabilità tra moduli e tempi di esecuzione contenuti anche su macchine non dotate di GPU.

B.4. Principi etici e conformità normativa

Il sistema è stato sviluppato nel pieno rispetto delle norme etiche e di protezione dei dati personali, secondo i principi del GDPR e del Regolamento Europeo sull'Intelligenza Artificiale (AI Act). Ogni partecipante ha fornito consenso informato per la raccolta e l'uso dei propri dati biometrici, e tutte le registrazioni sono state anonimizzate e archiviate in repository protetti.

Le informazioni sensibili (voci, immagini, trascrizioni) sono trattate con criteri di minimizzazione e trasparenza, e l'intero sistema è stato approvato dal Comitato Etico per la Ricerca di Ateneo (CERA). In questa prospettiva, il progetto costituisce un modello replicabile di applicazione responsabile dell'AI nel design, dove innovazione e tutela dei diritti fondamentali coesistono in equilibrio.

In nessuna fase del processo gli output del sistema vengono utilizzati per valutazioni automatiche dell'individuo, ranking delle prestazioni o decisioni operative dirette.

B.5. Sintesi conclusiva

L'architettura descritta costituisce l'infrastruttura tecnica di riferimento per le applicazioni presentate nel Capitolo 6, incluso il progetto *On Watch*, e dimostra come il paradigma Designer in the Loop possa essere implementato in modo coerente anche in contesti formativi e safety-critical. L'integrazione tra canali sensoriali e strumenti di AI non mira a sostituire il giudizio umano, ma a potenziarne la capacità interpretativa, traducendo segnali impliciti in informazioni utili al processo decisionale.

Questo approccio, validato in ambito nautico, può essere esteso a numerosi settori del design e della formazione, aprendo la strada a una nuova generazione di sistemi empatici e adattivi, in cui la conoscenza delle emozioni diventa un elemento fondante della progettazione orientata all'uomo.

APPENDICE C. Strumenti, librerie e dataset utilizzati

C.1. Strumenti e piattaforme di sviluppo

Lo sviluppo del sistema multimodale è stato realizzato con un insieme integrato di strumenti software open source e piattaforme cloud, selezionati per la loro interoperabilità, affidabilità e compatibilità con i principi di *Human-Centred AI*.

In Tabella 18 è riportato un elenco degli strumenti e delle piattaforme usate durante questa ricerca di dottorato.

Tabella 18: Elenco degli strumenti e delle piattaforme usate durante la ricerca

STRUMENTO / PIATTAFORMA	Descrizione e ruolo nel progetto
PYTHON 3.9 / 3.10	Linguaggio di programmazione principale per la pipeline di analisi, elaborazione e generazione dei report.
STREAMLIT	Framework per la creazione dell'interfaccia web interattiva (registrazione utente, dashboard e controllo sessioni).
GOOGLE SHEETS API	Utilizzata come database dinamico per la gestione dei dati anagrafici e dei requisiti tecnici dell'imbarcazione.
MAKE.COM	Strumento di automazione per la sincronizzazione dei flussi tra agenti AI, database e sistemi di notifica.
GOOGLE MAIL API	Modulo per l'invio automatico dei report PDF ai progettisti, con allegati e messaggi personalizzati.
HUMERAI API	Servizio cloud per l'analisi emozionale vocale basata su GeMAPS e modelli di <i>Affective Computing</i> .
MORPHCAST SDK	Sistema di riconoscimento facciale in tempo reale basato su FACS, per l'analisi delle Action Units e della valenza.
OPENFACE 2.0	Libreria open source per il tracciamento facciale e l'estrazione delle unità di azione (Action Units).
ELEVENLABS CONVERSATIONAL API	Utilizzata per la gestione delle interviste vocali, la trascrizione automatica e la sintesi vocale interattiva.
CREWAI / AGENT FRAMEWORK	Framework per la creazione e il coordinamento degli agenti intelligenti modulari (EmotionChartAgent, Requirement Extractor Agent, PDFComposerAgent).
REPORTLAB	Libreria Python per la generazione dei report PDF con layout personalizzato, loghi e grafici integrati.

MATPLOTLIB	Strumento per la creazione di grafici a barre, torte e timeline delle emozioni, inseriti automaticamente nei report.
PANDAS / NUMPY	Librerie fondamentali per la gestione dei dati numerici e la manipolazione di tabelle e JSON strutturati.
SCIKIT-LEARN	Utilizzata per modelli di regressione e analisi predittiva in contesti sperimentali di Machine Learning (es. GPR e Decision Tree).

C.2. Dataset e risorse di addestramento

Il sistema utilizza dataset pubblici e privati per l'addestramento e la validazione delle analisi facciali, vocali e predittive. Tutti i dataset sono stati impiegati nel rispetto delle licenze open source e delle normative europee sulla protezione dei dati personali (Tabella 19).

Tabella 19: Elenco Dataset usato per addestrare i modelli AI

DATASET / RISORSA	Descrizione e utilizzo
DELFT SYSTEMATIC YACHT HULL SERIES (DSYHS)	Dataset idrodinamico utilizzato per l'addestramento del modello di previsione delle prestazioni dello scafo mediante <i>Gaussian Process Regression</i> .
AFFECTNET / FER2013	Database di riferimento per il riconoscimento delle emozioni facciali; utilizzato per la calibrazione dei modelli FER e Morphcast.
EMO-DB / RAVDESS / TESS	Collezioni vocali annotate per emozioni; impiegate per la taratura dei modelli HumeAI e per test di coerenza con GeMAPS.
TRANSCRIPT JSON ARCHIVE	Archivio interno dei dialoghi trascritti dalle sessioni ElevenLabs, utilizzato come base per l'estrazione dei requisiti.
DATASET SPERIMENTALE DIANA	Raccolta proprietaria dei video e audio delle sperimentazioni presso Accademia della Marina Mercantile e Università di Genova. Archiviata in repository protetti e anonimi.

C.3. Sicurezza, anonimizzazione e governance dei dati

Tutti i dati raccolti sono stati trattati nel rispetto dei principi di:

- minimizzazione, limitando la quantità di dati personali trattati;
- anonimizzazione, attraverso codici identificativi univoci (CLIENT_ID);
- sicurezza, con archiviazione su repository protetti accessibili solo alla dottoranda e al responsabile scientifico;
- tracciabilità, mediante log automatici delle operazioni di analisi.
- Il protocollo sperimentale e la gestione dei dati biometrici hanno ricevuto parere favorevole dal Comitato Etico per la Ricerca di Ateneo (CERA), garantendo piena conformità al GDPR e all'AI Act europeo.

C.4. Sintesi conclusiva

L'insieme degli strumenti, librerie e dataset descritti costituisce la base tecnologica del sistema multimodale sviluppato, consentendo una gestione completa del ciclo dei dati — dalla raccolta alla rappresentazione — secondo un paradigma human-centred, trasparente e replicabile. L'integrazione di risorse open source e piattaforme AI di nuova generazione ha permesso di costruire un'infrastruttura solida, flessibile e conforme agli standard di ricerca internazionale.

Questo apparato metodologico fornisce le fondamenta per futuri sviluppi in direzione di sistemi adattivi più autonomi e agentici, mantenendo al centro l'obiettivo cardine del progetto: potenziare, non sostituire, la sensibilità e la capacità interpretativa del progettista umano.

APPENDICE D. Glossario Tecnico

Action Unit (AU)

Unità di azione definita dal *Facial Action Coding System (FACS)*. Corrisponde alla contrazione di uno o più muscoli facciali e consente di codificare le espressioni del volto in modo oggettivo e misurabile.

Affective Computing

Branca dell'intelligenza artificiale che studia e sviluppa sistemi in grado di riconoscere, interpretare e simulare emozioni umane attraverso segnali fisiologici, vocali e comportamentali.

AI Act

Regolamento europeo sull'Intelligenza Artificiale (2024), che classifica i sistemi AI in base al rischio e stabilisce criteri di trasparenza, sicurezza, responsabilità e tutela dei diritti fondamentali.

Anthropological Validation

Metodo qualitativo di interpretazione esperta dei comportamenti non verbali e delle emozioni, utilizzato per validare o integrare i risultati dell'analisi automatica con particolare attenzione alle emozioni complesse e socialmente mediate.

Arousal

Dimensione psicofisiologica che indica il livello di attivazione o eccitazione di un individuo, indipendentemente dalla valenza positiva o negativa dell'emozione.

Baseline Individuale

Profilo di riferimento delle risposte fisiologiche ed emozionali di un singolo individuo, acquisito in condizioni controllate. È utilizzato per normalizzare le variazioni successive e ridurre l'ambiguità interpretativa nei sistemi di riconoscimento emozionale.

Bias (in AI)

Tendenza sistematica di un modello di intelligenza artificiale a produrre risultati distorti a causa di dati di addestramento non bilanciati o rappresentativi.

Breath Rate Variability (BRV)

Misura della variabilità del ritmo respiratorio nel tempo. È considerata un indicatore sensibile di stress, carico cognitivo e attivazione emotiva, particolarmente rilevante in contesti operativi in cui altri segnali (faccia, voce) non sono disponibili.

CFD (Computational Fluid Dynamics)

Disciplina ingegneristica che utilizza metodi numerici per simulare i flussi fluidi. Nella ricerca è impiegata per stimare la resistenza idrodinamica delle carene.

Coordinator Agent

Agente centrale all'interno di un sistema multi-agente incaricato di orchestrare i flussi informativi tra agenti specializzati. Non assume funzioni decisionali autonome, ma garantisce coerenza, tracciabilità e sincronizzazione dei dati lungo il processo progettuale.

Decision Support System (DSS)

Sistema informatico progettato per supportare il processo decisionale umano attraverso l'analisi e la sintesi di informazioni complesse, senza assumere funzioni decisionali autonome.

Nella ricerca, l'AI è esplicitamente configurata come DSS all'interno del paradigma Designer in the Loop.

Designer in the Loop (DITL)

Paradigma metodologico introdotto nella tesi, secondo cui il progettista dialoga attivamente con l'AI durante il processo di design, trasformando dati cognitivi ed emozionali in parametri progettuali garantendo controllo umano, tracciabilità del processo e separazione tra supporto algoritmico e decisione progettuale.

Digital Twin (DT)

Replica digitale di un oggetto o sistema fisico che ne simula il comportamento in tempo reale, utilizzata per analisi predittive e manutenzione intelligente.

Dominance

Asse dimensionale delle emozioni che rappresenta il grado di controllo o sottomissione percepito da un individuo rispetto alla situazione o all'interlocutore.

ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)

Sistema elettronico di visualizzazione delle carte nautiche utilizzato per la navigazione. Costituisce un contesto ad alto carico cognitivo, spesso impiegato come scenario di riferimento per studi su fattore umano e sicurezza marittima.

Edge Computing

Architettura informatica che consente l'elaborazione dei dati direttamente sui dispositivi locali (edge devices), riducendo la necessità di inviarli a server remoti e migliorando privacy e latenza.

Emotional Load / Cognitive Load

Carico emotivo o cognitivo associato a un compito o a una situazione operativa, spesso correlato a stress, affaticamento e rischio di errore umano.

Parametro chiave nei contesti di navigazione e formazione avanzata.

Emotion Recognition (ER)

Processo automatico di rilevamento e classificazione delle emozioni umane attraverso segnali multimodali come voce, volto, testo o parametri fisiologici da intendersi come inferenza probabilistica e non come rilevazione diretta dello stato emotivo interno.

Explainability (XAI)

Capacità di un sistema di intelligenza artificiale di rendere comprensibili e tracciabili i propri processi decisionali e gli output generati.

Elemento fondamentale per l'adozione dell'AI in contesti regolamentati e safety-critical.

Facial Action Coding System (FACS)

Sistema di codifica sviluppato da Paul Ekman e Wallace Friesen (1978) per descrivere le espressioni facciali mediante unità di azione (AUs), utilizzato come base dei moderni sistemi FER.

Facial Emotion Recognition (FER)

Tecnologia di visione artificiale che analizza i movimenti del volto per identificare le emozioni espresse, basandosi sul FACS e su modelli di machine learning.

Fascicolo Progettuale

Documento strutturato che raccoglie in modo tracciabile le interazioni tra progettista e sistemi di AI, includendo dati, output intermedi, decisioni e validazioni.

Strumento centrale per garantire trasparenza, responsabilità e conformità normativa.

Fusion (Early / Late)

Strategia di integrazione dei dati provenienti da più canali sensoriali:

- *Early Fusion*: fusione a livello di feature;
- *Late Fusion*: fusione dei risultati di analisi indipendenti in un unico profilo emozionale (adottata in questa ricerca).

GeMAPS (Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set)

Set standardizzato di parametri acustici utilizzato per l'analisi delle emozioni vocali. Include caratteristiche di frequenza, energia, spettro e tempo, ed è compatibile con il modello SER.

Human Oversight

Principio normativo e metodologico secondo cui un sistema di intelligenza artificiale deve essere supervisionato da un essere umano in grado di comprenderne il funzionamento, intervenire sugli output e assumersi la responsabilità delle decisioni finali.

È uno dei requisiti chiave dell'AI Act per i sistemi ad alto rischio.

Human State Monitoring System (HSMS)

Piattaforma sperimentale sviluppata nella ricerca per il monitoraggio multimodale dello stato emotivo e cognitivo dell'operatore in contesti formativi e safety-critical, concepita come sistema di supporto e non di valutazione automatica

Human Reliability Engineering (HRE)

Approccio ingegneristico volto a valutare e migliorare l'affidabilità delle prestazioni umane in contesti complessi o critici, come la navigazione o la sicurezza marittima.

Human in the Loop (HITL)

Modello interattivo di AI che prevede l'intervento umano nelle fasi di addestramento, controllo o decisione del sistema, per garantire qualità e responsabilità dei risultati.

Intelligenza Artificiale (AI)

Campo dell'informatica che studia algoritmi e sistemi capaci di apprendere, ragionare e prendere decisioni in modo autonomo o assistito.

Machine Learning (ML)

Ramo dell'AI che utilizza modelli statistici e algoritmi per permettere ai sistemi di apprendere dai dati e migliorare le proprie prestazioni nel tempo.

Multi-Agent System (MAS)

Sistema composto da più agenti autonomi o semi-autonomi che interagiscono tra loro per svolgere compiti complessi, condividendo informazioni e coordinando le azioni.

Nella ricerca, il MAS è utilizzato come ecosistema di supporto al concept design, orchestrato dal designer.

Microespressioni

Movimenti facciali involontari e rapidissimi che riflettono emozioni autentiche difficilmente controllabili. Sono alla base della decodifica facciale nel FACS.

Morphcast

Software di riconoscimento facciale basato su FACS, capace di analizzare microespressioni e livelli di valenza e arousal in tempo reale.

Multimodal Emotion Recognition

Approccio di analisi emozionale che combina diversi canali sensoriali (voce, volto, testo, parametri fisiologici) per migliorare accuratezza e affidabilità dei risultati.

OpenFace

Libreria open source per il tracciamento automatico delle espressioni facciali e l'estrazione delle Action Units secondo il modello FACS.

Prosodia

Insieme delle caratteristiche ritmiche e intonative del parlato (intonazione, durata, intensità) che trasmettono informazioni emotive e attitudinali.

Privacy by Design

Principio di progettazione secondo cui la protezione dei dati personali viene integrata fin dalle prime fasi di sviluppo di un sistema, attraverso minimizzazione dei dati, anonimizzazione e controllo locale dell'elaborazione.

Requirement Extraction Agent

Agente linguistico basato su modelli LLM, progettato per estrarre automaticamente dalle trascrizioni i requisiti tecnici e le preferenze del cliente.

Safety-Critical Context

Ambiente operativo in cui errori umani o di sistema possono avere conseguenze gravi in termini di sicurezza, salute o danni materiali. Richiede elevati livelli di affidabilità, controllo umano e tracciabilità delle decisioni.

Safety-Critical System

Sistema il cui malfunzionamento o uso improprio può comportare rischi significativi per la sicurezza, la salute o l'ambiente.

I contesti marittimi analizzati nella ricerca rientrano in questa categoria.

Speech Emotion Recognition (SER)

Tecnologia che analizza il parlato per identificare emozioni e stati affettivi, basandosi su parametri acustici come frequenza, intensità, ritmo e spettro.

Valence

Asse dimensionale delle emozioni che rappresenta il grado di positività o negatività di uno stato affettivo.

Voice Analysis

Analisi acustica del parlato finalizzata a estrarre indicatori prosodici e paralinguistici correlati agli stati emotivi o cognitivi.

Workload Cognitivo

Quantità di risorse mentali richieste per svolgere un compito. È strettamente correlato a stress, errori operativi e performance umana ed è un parametro chiave nelle applicazioni safety-critical.

XR (Extended Reality)

Insieme delle tecnologie immersive che combinano realtà virtuale (VR), realtà aumentata (AR) e realtà mista (MR), impiegate per simulazioni e ambienti di formazione adattivi.

APPENDICE E. Questionario di self assessment utilizzato negli esperimenti

COME TI SEI SENTITO DURANTE L'ESERCITAZIONE?²⁷

English	Italiano	Per niente: 0	Un po': 1	Abbastanza: 2	Molto: 3	Moltissimo: 4	Non so
Adventurous	Avventuroso						
Afraid	Paura						
Alarmed	Allarmato						
Ambitious	Ambizioso						
Amorous	Amoroso						
Amused	Divertito						
Angry	Arrabbiato						
Annoyed	Infastidito						
Anxious	Ansioso						
Apathetic	Apatico						
Aroused	Eccitato						
Ashamed	Vergogna						
Astonished	Stupito						
At Ease	A mio agio						
Attentive	Attento						
Bellicose	Bellicoso						
Bitter	Amaro						
Bored	Annoiato						
Calm	Calma						
Compassionate	Compassionevole						
Conceited	Presuntuoso						
Confident	Fiducioso						
Conscientious	Coscientioso						
Contemplative	Contemplativo						
Contemptuous	Sprezzante						
Content	Contento						
Convinced	Convinto						
Courageous	Coraggioso						
Defiant	Ribelle						
Dejected	Sconsolato						
Delighted	Incantato						
Depressed	Depresso						
Desperate	Disperato						
Despondent	Scoraggiato						
Determined	Determinato						
Disappointed	Deluso						
Discontented	Scontento						
Disgusted	Disgustato						
Dissatisfied	Insoddisfatto						
Distressed	Angosciato						
Distrustful	Diffidente						
Doubtful	Dubbioso						
Droopy	Abbattuto						
Embarrassed	Imbarazzato						
Enraged	Infuriato						
Enthusiastic	Entusiasta						
Envious	Invidioso						
Excited	Eccitato						

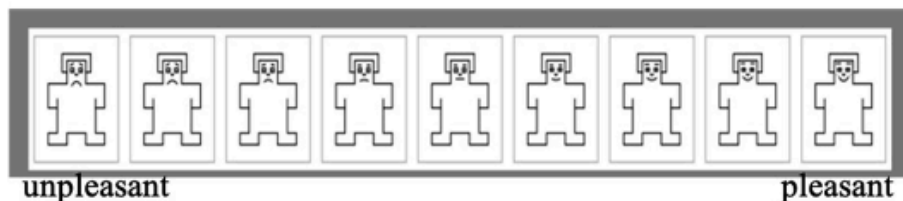
²⁷ Nota: la lista delle emozioni è presentata in lingua inglese per mantenere coerenza con le tassonomie e i dataset di riferimento; le equivalenze italiane sono state utilizzate come supporto alla compilazione e possono introdurre ambiguità lessicali. Per garantire replicabilità e comparabilità, l'analisi fa riferimento ai label originali.

Expectant	In attesa						
Feel Guilt	Senso di colpa						
Feel Well	Sentirsi bene						
Feeling Superior	Sentirsi Superiori						
Friendly	Amichevole						
Frustrated	Frustrato						
Glad	Lieto						
Gloomy	Cupo						
Happy	Contento						
Hateful	Pieno di odio						
Hesitant	Esitante						
Hopeful	Speranzoso						
Hostile	Ostile						
Impatient	Impaziente						
Impressed	Impressionato						
Indignant	Indignato						
Insulted	Insultato						
Interested	Interessato						
Jealous	Geloso						
Joyous	Gioioso						
Languid	Languido						
Light Hearted	Leggero						
Loathing	Detestabile						
Longing	Desiderio						
Lusting	Lussuria						
Melancholic	Malinconico						
Miserable	Miserabile						
Passionate	Appassionato						
Peaceful	Tranquillo						
Pensive	Pensieroso						
Pleased	Lieto						
Polite	Educato						
Relaxed	Rilassato						
Reverent	Riverente						
Sad	Triste						
Satisfied	Soddisfatto						
Selfconfident	Sicuro di sé						
Serene	Sereno						
Serious	Serio						
Sleepy	Assonnato						
Solemn	Solenne						
Startled	Sorpreso						
Suspicious	Sospetto						
Taken Aback	Preso alla sprovvista						
Tense	Teso						
Tired	Stanco						
Triumphant	Trionfante						
Uncomfortable	Scomodo						
Wavering	Oscillante						
Worried	Preoccupato						

Esprimi come ti sei sentito selezionando l'immagine che più ti assomiglia nei seguenti diagrammi

The level of valence

(Tell us which number of pictures best describes the level of happiness you feel right now)



unpleasant

pleasant

1

2

3

4

5

6

7

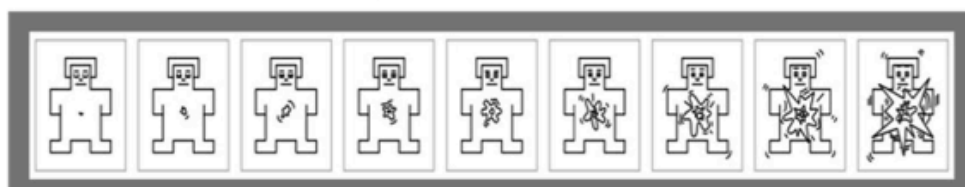
8

9

9

The level of arousal

(Tell us which number of pictures best describes the level of arousal you feel right now)



calm

excited

1

2

3

4

5

6

7

8

9

9

APPENDICE F. Paper e articoli pubblicati

Alba del superumano, armonia e tecnologia nel design nautico del prossimo futuro

GUD 09 2024 | Iperumano/HyperHuman; Stefano Tremarini Editore;
ISSN 1720-075X

Reperibile su: https://www.stefanotermaninieditore.it/portale/bfd_download/gud9_iperumano-hyperhuman_01_2024_issn1720-075x_oa

Abstract

Naval design is undergoing a radical transformation thanks to the integration of emerging technologies for the analysis of human emotions. A doctoral research project in Marine Science and Technology at the University of Genoa explores the use of systems such as the Facial Action Coding System (FACS), the Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS), electroencephalography (EEG), and non-invasive biometric sensors to revolutionise the onboard experience, creating an innovative interaction between humans and technology in the naval sector. The aim of this study is to surpass traditional design boundaries by creating maritime environments that can anticipate and interact with the occupants' emotions. Using a multimodal data analysis approach, the goal is to develop systems capable of recognising and responding to emotional states in real-time, enhancing comfort, safety, and emotional experience on board. This relationship between design and technology could usher in a new era in naval design, with vessels becoming sensitive and adaptable to individuals' emotional needs. The concept of the "hyperhuman" becomes practical, proposing a technology that extends human capabilities, enriching our experiences and interactions with the marine environment. This scientific research is based on the evolutionary synergy between humans and technology, suggesting that such investigations are crucial for the future of naval design. Marine environments can become existential spaces where safety, well-being, and human relationships integrate harmoniously, transforming vessels into empathetic travel companions that understand and react to human emotions, elevating the travel experience beyond traditional boundaries. The new generations of shipowners seek memorable emotional and existential experiences rather than expressions of a particular status symbol. Emotional narratives become mass communication, fuelling the nautical market, as the emotions shared during a journey transform our perception and memory. The detailed analysis of the collected data and the discussion of the results not only enrich the existing literature but also open new horizons for the practice of naval design, where artificial intelligence and human sensitivity converge to create profoundly human maritime experiences.



A Modular Approach to Emotional State Analysis in Minimal Spaces Utilizing Multimodal Systems

Construction & Building Technology; Barcelona 13th -14th May 2024

Reperibile su: <https://buildtechweek.peoplevents.uk/>

Abstract.

In the architectural and interior design of confined or minimal spaces, the accurate assessment of user perception is critical for ensuring optimal user experience and well-being. This paper addresses the necessity of incorporating objective parameters to measure user perception, particularly focusing on emotional states, within such spatial contexts.

Drawing from previous research, this study highlights the effectiveness of artificial intelligence (AI)-based systems in gauging individuals' emotional states through Facial Emotion Recognition (FER) and Speech Emotion Recognition (SER) technologies. These systems leverage sophisticated algorithms to analyze facial expressions and vocal cues, providing valuable insights into users' emotional experiences within confined environments.

Furthermore, the integration of signals from an Electroencephalogram (EEG) offers additional layers of understanding regarding users' emotional states. However, it is noted that EEG utilization is more applicable in scenarios where users are professionals, as seen in specialized contexts like underwater or space habitats.

To address the complexities of emotional state analysis in minimal spaces, this paper proposes a modular approach. By combining FER, SER, and EEG data, a comprehensive understanding of users' emotional states can be achieved. This multimodal system offers flexibility and adaptability, catering to diverse user needs and environmental constraints within confined spaces, such as underwater research stations and space habitats. The proposed approach holds significant implications for the design and implementation of emotional state analysis systems in constrained environments. By leveraging advanced technologies and integrating multiple modalities of data collection, designers and architects can enhance user experience and well-being in minimal spaces, ultimately contributing to the optimization of human-environment interactions in confined contexts.

Feel the Space: Pioneering Emotional Intelligence in Architecture

Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Architecture and Construction – 9th April, 2024, Chandigarh, India

Ebook ISBN: 978-981-97-4988-1

Reperibile su: <https://www.cuchd.in/ictac2024>)

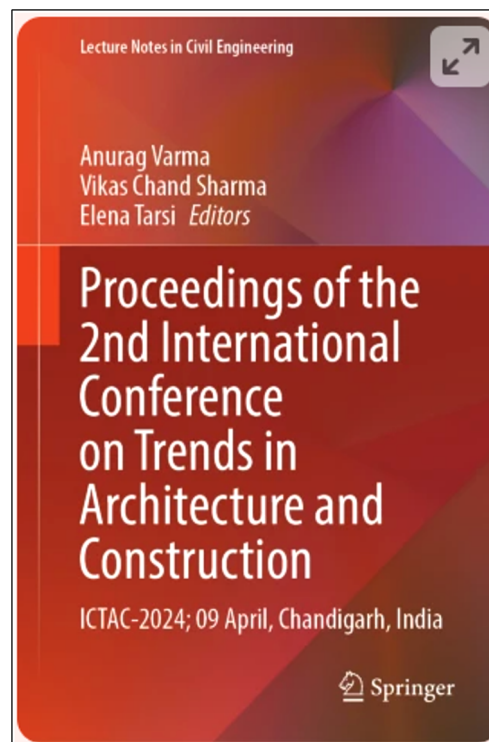
Abstract.

Our research at the University of Genoa, in collaboration with Accademia Mercantile di Genova, explores the synergy between neuroarchitecture and emotion recognition technologies. By integrating the Facial Action Coding System (FACS) and the Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS) into a multimodal system, we provide ground-breaking insights into the emotional responses elicited by architectural designs. This approach is rooted in neuroarchitecture, where the objective is to craft spaces that go beyond aesthetics, actively enhancing occupant well-being through design informed by emotional data.

The multimodal system we've developed is pivotal for architects seeking to align their work with the emotional and psychological experiences of users. FACS and GeMAPS allow us to map and analyse the often-subtle expressions and vocalisations that signify user reactions, delivering a nuanced understanding of their engagement with the environment. Such detailed emotional feedback is indispensable in refining architectural design to evoke specific affective responses.

Our future endeavours aim to expand our system's capabilities through extended reality (XR). XR's immersive simulations promise to enhance our emotion recognition framework, providing more in-depth user experience insights. This will not only validate our current findings but also open new avenues for empathetic design processes.

In sum, our work positions us at the cusp of a design revolution, where understanding and responding to human emotions through architecture can profoundly impact society's interaction with the built environment. The potential of our multimodal system in shaping the future of neuroarchitecture is immense, marking a paradigm shift towards more humane and responsive design practices.



AI-Powered Emotion Recognition for Maritime Safety Enhancement

15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024) and the Affiliated. - July 24th -27th , 2024 - Nice, France

DOI: 10.54941/ahfe1004824

Reperibile su: https://openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-964867-05-2/article/978-1-964867-05-2_20

Abstract.

This paper delineates an initiative to devise an emotion recognition system bespoke for nautical settings, employing artificial intelligence (AI) and an array of biosensors. The system will integrate speech emotion recognition (SER) technology to discern emotions such as anger, fear, joy, and sorrow through voice patterns.

Additionally, biosensors like skin conductance (EDA/GSR), electrocardiography (ECG), and eye-tracking technology will collect further physiological data. The aggregated data will be analysed to assess the emotional state of the individuals involved. A virtual mock-up, simulating a maritime environment complete with weather dynamics and potential equipment malfunctions that could induce stress or anxiety, will be created.

This virtual environment will endeavour to achieve a high degree of realism to heighten the immersion of participants in the simulated scenario.

AI algorithms will adjust this environment in real time in response to the user's emotional state to enhance the user experience (UX). For example, should the system detect stress or anxiety, the virtual scenario may transition to a calming seascape to encourage relaxation and alleviate stress.

Future developments will see the incorporation of a real-time alarm mechanism capable of notifying essential personnel, such as the ship's captain or supervisor, upon detection of emotional states that warrant attention. This alert system is designed as a preventive measure, aiming to avert more serious consequences like accidents, errors, or more grave incidents. The system will also proffer recommendations for intervention or actions based on the detected emotional state.

The project's goal is to introduce an avant-garde approach to monitoring and supporting the mental health and safety of maritime professionals. It aspires to detect emotional fluctuations instantaneously, provide interventions, and adjust the environment to promote relaxation and minimise stress.

The project is expected to yield practical implications for the maritime industry and other high-risk work environments where the mental health and safety of workers are paramount. In conclusion, the project's



outcomes are projected to offer practical benefits for the maritime sector and other high- risk occupations, ensuring the monitoring and support of workers' mental health and safety.



Figura 50: Best Student Paper Award in Design and Ergonomics Section

Leisure Reimagined: Technology and AI-Driven Personalisation for Enhanced Wellbeing

DRS 2024 – 23rd -28th June, 2024, Boston, MA (USA) –

Paper Track 3: “Design for Wellbeing and Happiness

Reperibile su: <https://www.conftool.pro/drs2024/index.php?page=submissions>

Abstract.

This paper explores how technology and artificial intelligence (AI) can revolutionize leisure activities by dynamically tailoring experiences to individuals' emotions and preferences. Using leisure sailing as an example, it showcases how onboard sensors and AI systems can respond to participants' emotions, adjusting lighting, music, ventilation, colours, and furniture to enhance well-being.

The paper encourages discussions on the potential of technology and AI to elevate leisure, focusing on advancements, applications, and ethical considerations. Its goal is to deepen our understanding of personalized and engaging leisure experiences, inspiring collaborations to reshape relaxation and joy.

The envisioned future promises customized comfort and happiness in leisure through seamless technology and AI integration.

Neurodesign: A Game-Changer in Educational Contexts

Design Research Society

Learn X Design 2023, London, 30th December , 2023, UK

Reperibile su: <https://doi.org/10.21606/drslxd.2024.014>

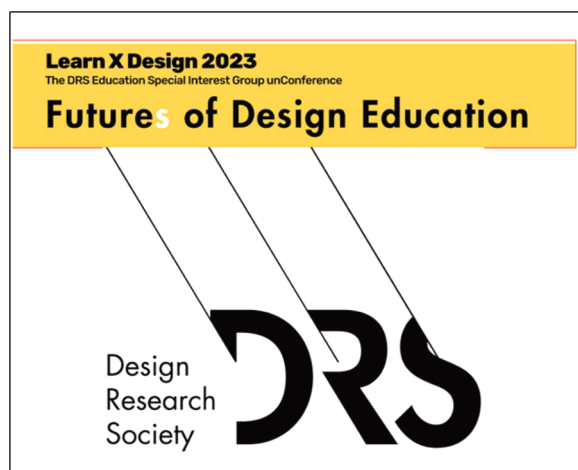
Abstract.

In the wake of the COVID-19 pandemic, the importance of assessing students' academic performance has become more critical than ever. With the widespread adoption of remote and hybrid learning models, it is essential to monitor students' progress and identify areas where they may be struggling. Using Artificial Intelligence (AI) to assess students' performance can help prevent the dispersion of educational outcomes that may result from the pandemic.

By leveraging advanced techniques such as Deep Learning and Computer Vision, educators can extract features from students' data, including their facial expressions and

sentiment analysis, to gain insights into their learning progress and emotional wellbeing. Through our proposed approach that combines Facial Expression Recognition (FER) and Sentiment Analysis techniques, we can detect stress periods and improve students' academic performance. This can enable educators to identify students who may be struggling with the transition to remote learning or facing other challenges and provide them with the support they need to succeed.

Overall, our research highlights how AI-based student performance assessment can play a critical role in ensuring that students' educational outcomes are not adversely affected by the pandemic. By monitoring students' progress and providing targeted interventions to support their learning, educators can help prevent the dispersion of educational outcomes and ensure that all students receive the education they deserve.



Technology and neuroarchitecture

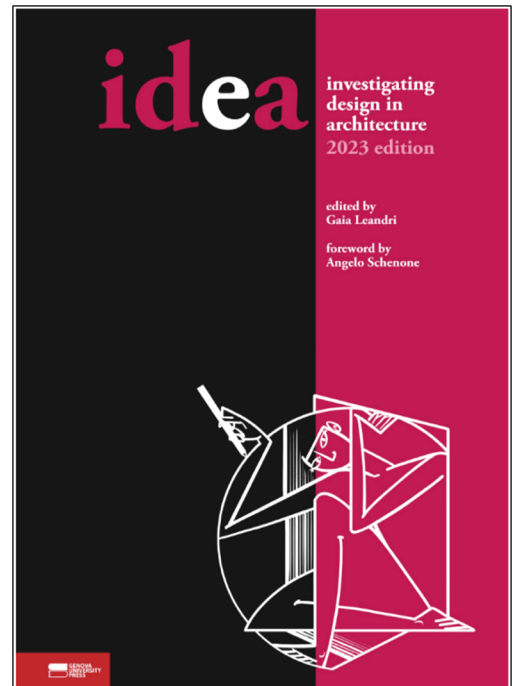
idea– investigating design in architecture 2023 –
Genoa, 17 Aprile 2023; e-ISBN (pdf) 978-88-3618-215-2

Reperibile su: https://gup.unige.it/sites/gup.unige.it/files/pagine/idea_ebook.pdf

Abstract.

This paper is part of an ongoing research project involving the Department of Architecture and Design at the University of Genoa, as well as entities from both the professional training and industrial worlds. The primary objective of this research is the development of a tool that is useful both for designers and for users.

Based on the concept of smart mock-ups, previously developed by the authors, the focus has been declined on the world of nautical design, with the aim of measuring, through qualitative parameters, the user experience in a built environment, whether it is a relaxing or working environment. The first and fundamental step involves defining the 'state of the user' through a vector of measurable variables using a network of sensors that do not significantly alter the UX with the surrounding space. This article presents the state of the art of techniques and sensors that can be used for research purposes, as well as the proposed experimental setting to verify the initial working hypotheses. Then we will describe how research will move on to obtain an affordable and efficient tool for nautical designers. Here, we will describe different types of methods that can be used in neuroscience, from standard ones (like emotions recognition software based on FACS, or biometric sensors like heart rate variability, galvanic skin response), to modern ones (like the use of electroencephalography, functional magnetic resonance imaging) and eye tracking.



Navigating emotions: a multimodal approach to redefining nautical naval design

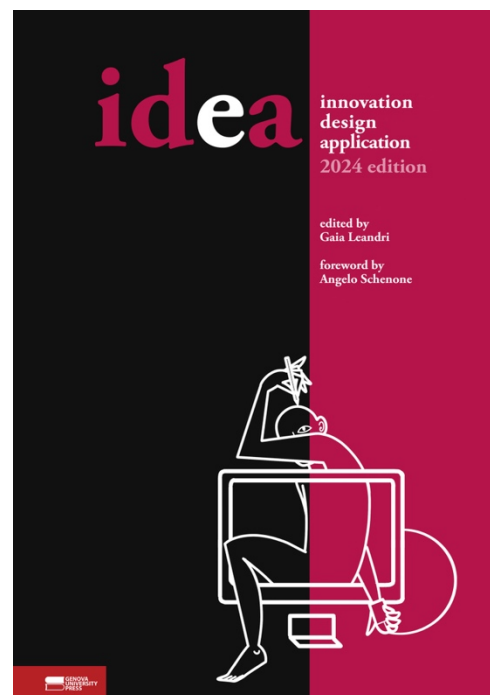
idea– investigating design in architecture 2024 –

Genoa, 18 Marzo 2025; e-ISBN (pdf) 978-88-3618-261-9

Reperibile su: https://gup.unige.it/sites/gup.unige.it/files/pagine/idea_ebook.pdf

Abstract.

This study outlines an innovative approach to nautical naval design, merging artificial intelligence with the nuanced analysis of human emotions to elevate the sea travel experience. A collaboration between the University of Genoa's Ph.D. program in Marine Science and Technology and the Merchant Marine Academy of Genoa has resulted in the development of an advanced multimodal system. This system employs the Facial Action Coding System (FACS) and the Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS) for real-time analysis and response to human emotions aboard naval vessels. The aim is to personalize maritime spaces, ensuring safety and wellbeing for passengers by capturing and responding to the emotional nuances of clients. The research incorporates various sensory modalities, including facial expression and vocal prosody to achieve a comprehensive understanding of emotions. Initial findings demonstrate the system's potential in creating emotionally resonant environments, with applications in romantic, adventure, wellness cruises, and more. The methodology combines video and audio analysis, self-assessments, and expert evaluations to ensure data coherence. Future work will explore the integration of Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), non-invasive biometric sensors, and electroencephalography (EEG) to deepen emotional understanding and further personalize the sea travel experience. This innovative convergence of technology and empathy in naval design promises to *revolutionize the concept of sea travel, making it a more intimate and responsive journey*



Quantifying human factor in ships operation via an AI based emotions recognition.

4th International Naval Architecture and Maritime Symposium (INT-NAM 2023) - Yildiz Technical University Naval Architecture and Maritime Faculty October 11th-13th , 2023, Besiktas, Istanbul, Turkiye; “ (E) ISBN 978-605-4123-32-2

Reperibile su: https://drive.google.com/file/d/1Ky3Egzg_VOdb2Wuq2ckXWsf55eVU4Hx/view

Abstract.

Human factor evaluation through emotion recognition from face micro-expressions and speech analysis is highly valuable in the shipping and logistics industry. It allows for understanding the emotional state and engagement levels of individuals involved, impacting efficiency, customer satisfaction, and overall success.

Emotion recognition plays a crucial role in assessing the well-being and mental state of shipping personnel. By identifying signs of stress, fatigue, or frustration, companies can take proactive measures to address issues, support employees, and improve job satisfaction. Speech analysis also contributes to human factor evaluation by analyzing speech patterns to identify confusion, frustration, or lack of engagement, enabling companies to optimize training programs and improve communication protocols. While sentiment analysis offers benefits, ethical considerations are important. Privacy and consent must be respected, and personal information handled responsibly and transparently. Biases and discrimination risks associated with emotion recognition technology should be acknowledged and addressed to ensure fair and equitable use.

In conclusion, human factor evaluation through emotion recognition and speech analysis brings value to the shipping industry. By understanding emotions, companies can enhance employee well-being, communication, operations, and customer service. Ethical guidelines must be followed to protect privacy, avoid biases, and ensure responsible technology use in shipping



Enhancing Nautical Design Through Emotion Detection: A Machine Learning Approach

2024 AHFE International Conference on Human Factors in Design, Engineering, and Computing (AHFE 2024 Hawaii Edition); Honolulu, Hawaii, USA; December 8-10, 2024; Track: Applications of Technologies in Healthcare and Medicine

Abstract.

In the realm of nautical design, optimizing user experience on board is paramount for ensuring safety, comfort, and efficiency. This abstract presents a novel approach leveraging emotion detection techniques, integrating face analysis, speech analysis, and biometric sensors analysis through thermal cameras, EEG, and ECG. The integration of these technologies, coupled with advanced machine learning algorithms, offers a promising avenue for revolutionizing the field of nautical architecture.

Human-centred design has long been a cornerstone of creating products and environments that prioritize user needs and preferences. However, the incorporation of emotion detection technologies introduces a new dimension to this paradigm. By harnessing the power of machine learning, designers can gain deeper insights into the emotional states of passengers and crew members aboard vessels. This holistic understanding enables the tailoring of design elements to enhance comfort and well-being, ultimately improving the overall user experience. Computation and intelligent design play a pivotal role in analyzing vast amounts of data generated by emotion detection systems.

Through sophisticated algorithms, patterns in facial expressions, vocal intonations, and physiological signals can be deciphered, providing invaluable feedback for nautical architects. By iteratively refining design elements based on these insights, vessels can be optimized to better accommodate the emotional needs of occupants, fostering a more enjoyable and immersive environment.

Augmented, virtual, and mixed reality simulations offer a unique opportunity to visualize design concepts and evaluate their impact on user emotions in a virtual environment. By immersing stakeholders in simulated scenarios, designers can gather real-time feedback on proposed changes and iterate rapidly. This iterative process enables the identification of optimal design configurations that maximize user satisfaction and emotional well-being. Wearable technologies, coupled with social and affective computing, provide a continuous stream of data that offers unprecedented insights into user behaviour and emotions. By integrating these technologies into the nautical environment, architects can monitor the emotional state of passengers and crew members in real-time. This proactive approach allows for timely interventions to address potential issues and optimize the overall sailing experience. Human-computer interaction is elevated to new heights through the seamless integration of emotion detection technologies into nautical design. By fostering a symbiotic relationship between humans and technology, designers can create intuitive interfaces that adapt to the emotional needs of users. Whether through intuitive gesture recognition or personalized recommendations, technology becomes a catalyst for enhancing user engagement and satisfaction.

Training and learning sciences intersect with nautical design through the development of educational programs that leverage emotion detection technologies. By incorporating immersive simulations and real-world scenarios, training programs can better prepare crew members for the challenges they may encounter at sea. Additionally, by analyzing emotional responses to training stimuli, educators can tailor instruction to optimize learning outcomes and retention. Applications of technologies in healthcare and medicine extend beyond traditional clinical settings to encompass the maritime domain.

Emotion detection technologies can serve as early warning systems for identifying stress or discomfort among passengers and crew members. By integrating these systems with telemedicine platforms, medical professionals can provide timely support and interventions, ultimately enhancing the health and well-being of those on board. In conclusion, the integration of emotion detection technologies with machine learning algorithms offers immense potential for optimizing nautical design and improving the user experience on board. By leveraging these technologies, nautical architects can create vessels that not only meet functional requirements but also resonate with the emotional needs of occupants, ushering in a new era of human-centric design in maritime transportation.

Enhancing Sailing Yacht Design through Machine Learning: Application of Gaussian Process Regression to Predict Bare Hull Resistance

26th Symposium on the Theory and Practice of Shipbuilding, SORTA 2024, University of Zadar, Maritime Department, October, 2-5th, Zadar, Croatia

Abstract.

The evaluation of sailing yacht hull resistance plays a pivotal role in enhancing vessel performance, reducing fuel consumption, and optimizing overall efficiency. Traditional methods for assessing hull resistance typically rely on costly and labor-intensive experiments or computational fluid dynamics (CFD) simulations. However, these approaches can be prohibitive due to their complexity and resource requirements. This paper presents a novel approach using machine learning (ML) to predict the resistance of sailing yacht bare hulls, offering a more efficient alternative to conventional methods.



Specifically, we employ a Gaussian Process Regression (GPR) model, utilizing the Delft systematic hull series dataset, which includes 50 distinct sailing yacht hull forms alongside their corresponding resistance measurements across Froude numbers ranging from 0.1 to 0.6. The performance of the GPR model, as well as other ML models, is rigorously assessed through metrics such as Root Mean Square Error (RMSE), R-squared, and Mean Squared Error (MSE).

Our findings indicate that ML, particularly the Gaussian Process Regression model, effectively predicts hull resistance, demonstrating substantial potential for incorporation at the early design stages of yachts. This integration can significantly aid in the hydrodynamic optimization of hull forms. In conclusion, the application of machine learning, especially the Gaussian Process Regression model, emerges as a robust tool in the naval architecture domain, facilitating significant strides in the design and optimization of sailing yachts and potentially broader ship types. This study underscores the transformative impact of ML in naval engineering, offering scalable, accurate, and cost-effective solutions for yacht resistance evaluation.

Leveraging AI and Deep Learning Algorithms to Enhance Leisure Sailing Experiences

26th Symposium on the Theory and Practice of Shipbuilding, SORTA 2024, University of Zadar, Maritime Department, October 2nd-5th, Zadar, Croatia,

Abstract.

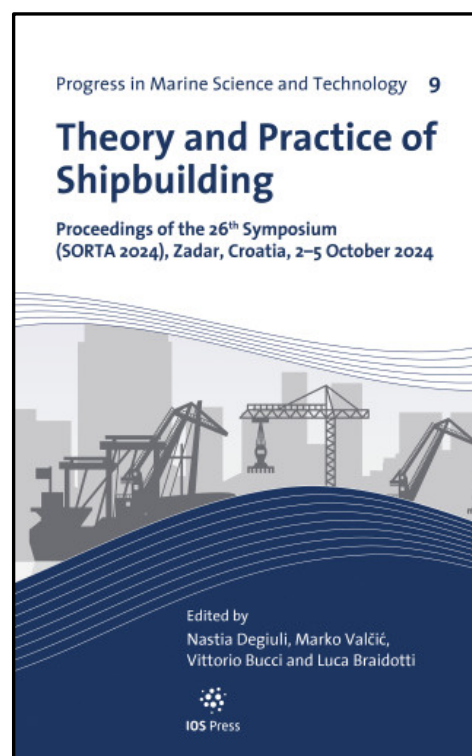
This paper explores the transformative potential of artificial intelligence (AI) and deep learning algorithms in revolutionizing leisure sailing experiences. Leisure activities, including sailing, have traditionally been static in nature, offering limited opportunities for personalization and customization. However, recent advancements in AI and deep learning have opened up new avenues for enhancing these experiences by dynamically tailoring onboard environments to individuals' emotions and preferences.

Using leisure sailing as a case study, this paper demonstrates how AI and deep learning algorithms can be leveraged to create truly personalized and engaging experiences for participants. By analyzing data from onboard sensors and other sources in real-time, these algorithms can dynamically adjust various environmental factors such as lighting, music, ventilation, colors, and furniture layout to optimize comfort and enjoyment.

Furthermore, this paper explores the technical intricacies of implementing AI and deep learning algorithms in the context of leisure sailing. It discusses the challenges and opportunities associated with data collection, analysis, and interpretation, as well as the ethical considerations involved in using AI to enhance leisure experiences.

By highlighting the potential of AI and deep learning to revolutionize leisure sailing experiences, this paper aims to inspire further research and development in this area. By fostering collaborations between researchers, technologists, and leisure industry professionals, it seeks to pave the way for the creation of innovative solutions that will reshape the future of leisure sailing.

In summary, this paper envisions a future where AI and deep learning algorithms are seamlessly integrated into leisure sailing experiences, creating personalized and engaging environments that maximize comfort and enjoyment for participants.



Enhancing Leisure Sailing Experience through Technology and Artificial Intelligence

4th International Conference on Nautical and Maritime Culture by Associazione Italiana di Tecnica Navale (ATENA); CNM 2024, 28th-29th November 2024, Venice, Italy

Abstract.

This paper explores the potential of technology and artificial intelligence (AI) to revolutionize leisure sailing experiences by dynamically tailoring onboard environments to individuals' emotions and preferences. Traditionally, leisure activities have been somewhat static, offering limited scope for personalization. However, advancements in sensor technology and AI systems have opened up new possibilities for enhancing well-being and enjoyment during leisure activities.



Using leisure sailing as a case study, this paper demonstrates how onboard sensors and AI systems can respond in real-time to participants' emotions, adjusting various environmental factors such as lighting, music, ventilation, colors, and furniture layout to optimize comfort and enjoyment. By harnessing the power of technology and AI, leisure sailing experiences can be personalized and enriched, leading to enhanced relaxation and joy for participants.

Furthermore, this paper encourages discussions on the broader potential of technology and AI to elevate leisure experiences across different domains. By focusing on advancements, applications, and ethical considerations, it aims to deepen our understanding of personalized and engaging leisure experiences. By fostering collaborations between technology developers, leisure industry professionals, and researchers, this paper seeks to inspire the creation of innovative solutions that reshape the future of leisure.

In summary, this paper envisions a future where leisure sailing experiences are enhanced through seamless integration of technology and AI. By dynamically adapting to individuals' emotions and preferences, the onboard environment can be optimized to maximize comfort and happiness, providing a truly personalized and engaging leisure experience.

Predicting resistance of a sailing yacht bare hull using a machine learning Gaussian Process Regression model

4th International Conference on Nautical and Maritime Culture by Associazione Italiana di Tecnica Navale (ATENA); CNM 2024, 28th-29th November, 2024, Venice, Italy

Abstract.

Hull resistance is a critical factor in determining a vessel's performance, fuel consumption, and overall efficiency.

Traditional methods for evaluating hull resistance involve time-consuming and expensive experiments or computational fluid dynamics (CFD) simulations. Machine learning (ML) offers a promising alternative for predicting ship resistance, leveraging data-driven models to establish relationships between hull characteristics and resistance values. This study investigates the application of machine learning to evaluate a sailing yacht bare hull resistance using a machine learning Gaussian Process Regression model trained with the Delft systematic hull series.

A dataset comprising 50 sailing yacht hull forms and corresponding resistance values evaluated for Froude numbers between 0.1 and 0.6 is used to train and validate various ML models. The models are evaluated based on RMSE, R-Squared and MSE values. The results demonstrate the effectiveness of ML Gaussian Process Regression models in predicting ship resistance and the can be integrated into the early stages of ship design, facilitating the optimization of hull forms for improved hydrodynamic performance. In conclusion, this research establishes machine learning as a powerful tool for evaluating sailing yacht resistance; the developed ML models offer accurate, efficient, and generalizable predictions, contributing to the advancement of yachts and ships design optimization.



Intelligent Ship Design: Integrating AI into Modern Naval Architecture

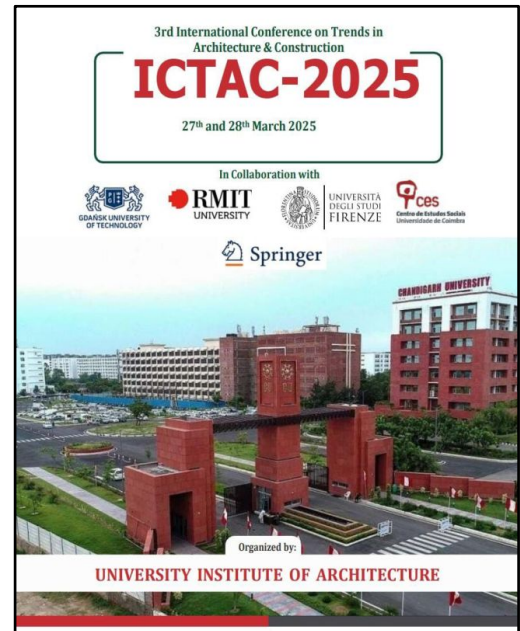
3rd International Conference on Trends in Architecture & Construction

<https://www.cuchd.in/conference/ictac2025/>

27th-28th March 2025, Chandigarh, India

Abstract

The evolution of ship design methodologies from the traditional design spiral to the V-model represents a significant shift in naval architecture practices. However, the integration of artificial intelligence (AI) presents unprecedented opportunities to enhance both approaches while creating a more responsive and efficient design process. This paper proposes a theoretical framework for incorporating AI technologies throughout the ship design lifecycle, from initial requirements gathering to operational validation. Through the systematic integration of emotion recognition, natural language processing, and machine learning algorithms, we demonstrate how AI can enhance the interpretation of client requirements, optimize hull parameters, and improve the verification and validation phases of the V-model. The framework specifically addresses how AI can bridge the iterative nature of the design spiral with the systematic validation approach of the V-model, creating a hybrid methodology that leverages the strengths of both approaches. Our analysis suggests that this AI-enhanced approach could significantly reduce iteration time while improving design accuracy and stakeholder satisfaction. The paper presents both theoretical advantages and implementation challenges, offering insights into how the role of naval architects may evolve in this technologically augmented design environment. This research contributes to the broader discussion of technology's role in architecture and construction, particularly in specialized fields like naval architecture where complex requirements and stakeholder needs must be carefully balanced with technical and regulatory constraints.



Human-centred AI integration in naval architecture: enhancing design processes through emotion recognition and intelligent systems

AHFE 2025 - 16th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences – Volume 186 Advances in Human Factors of Transportation - July 26th-30th, 2025, Orlando, Florida, USA

DOI: [10.54941/ahfe1006545](https://doi.org/10.54941/ahfe1006545)

ISBN: 978-1-964867-71-7

Abstract.

This research presents a comprehensive framework for integrating artificial intelligence technologies throughout the yacht design process, with particular emphasis on enhancing human-centred design principles and improving user experience. Our approach addresses the fundamental challenge of translating subjective human experiences and emotional responses into quantifiable design parameters whilst maintaining the creative aspects of yacht design. At the core of our framework is an advanced emotion recognition system combining facial expression analysis with voice pattern interpretation. This system enables designers to capture and quantify emotional responses during client consultations and design reviews, providing unprecedented insight into user reactions to different design elements. The integration of natural language processing enhances this capability by analysing complex client conversations and automatically extracting key requirements. The framework extends beyond initial design to encompass the entire vessel lifecycle, including a sophisticated comfort monitoring system that uses computer vision and machine learning to create responsive environments. This system analyses facial expressions, body language and movement patterns in real-time, automatically adjusting environmental parameters to optimise occupant comfort. Our research demonstrates how this AI-enhanced approach can significantly reduce design iteration time whilst improving requirement interpretation accuracy and stakeholder satisfaction. The implementation of machine learning algorithms for hull optimisation introduces a new dimension to the design process, allowing for simultaneous consideration of multiple performance parameters whilst maintaining focus on human comfort. The theoretical framework addresses several key challenges in contemporary yacht design: quantifying emotional and experiential aspects traditionally considered too subjective for systematic analysis, integrating these subjective elements with technical requirements, and introducing continuous validation based on user responses. Rather than replacing human expertise, our framework positions the designer as a strategic creative director and technology interpreter. This evolution requires designers to develop new competencies combining traditional naval architecture knowledge with understanding of human factors engineering and AI capabilities. Key areas of enhancement include: Requirements gathering through emotion recognition and natural language processing Ergonomic optimisation using machine learning Environmental adaptation through intelligent



comfort monitoring Systematic design validation against human factors principles Implementation challenges encompass: Privacy and data security considerations Cultural sensitivity in emotion recognition User trust and acceptance Interface design maintaining luxury aesthetics The research contributes to human factors and ergonomics by demonstrating how AI can enhance rather than replace human-centred design principles. Our framework offers a systematic approach to integrating subjective human experiences with objective design parameters, potentially transforming how designers approach complex architectural challenges. Future research directions include developing more sophisticated emotion recognition algorithms for marine environments, investigating cultural variations in emotional expression, enhancing generative design capabilities, and exploring advanced human-AI collaboration models. The successful implementation requires ongoing collaboration between designers, technologists and human factors specialists to ensure technological advancement serves the fundamental goals of excellent design and enhanced user experience. As these technologies continue to develop, the focus remains on supporting and enhancing human creativity rather than replacing it.

AI Agents as Knowledge Navigators: A Conceptual Framework for Multi-Agent Systems in Scientific Knowledge Management

AHFE 2025 - 16th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences – Volume 195 Human-Computer Interaction & Emerging Technologies- July 26th-30th, 2025, Orlando, Florida, USA

DOI: [10.54941/ahfe1006006](https://doi.org/10.54941/ahfe1006006)

ISBN: 978-1-964867-71-7

Abstract.

The rapid and continuous expansion of scientific literature has led to an unprecedented increase in the volume of knowledge produced, significantly complicating its organization, retrieval, and effective utilization. Researchers face considerable challenges in managing this vast information landscape, particularly in terms of identifying relevant studies, maintaining contextual integrity, and integrating knowledge across multiple disciplines.

Traditional database-driven search engines and static indexing methods often fall short in addressing these issues, as they lack the capacity to dynamically interpret scientific discourse, establish meaningful cross-disciplinary connections, and facilitate real-time knowledge synthesis. To overcome these limitations, this study proposes a novel approach to scientific knowledge management through a multi-agent artificial intelligence (AI) system. This system is designed to enhance interactive, context-aware, and dynamic information retrieval by leveraging a network of AI agents, each specialized in distinct scientific domains. These agents operate collaboratively, employing advanced adaptive learning mechanisms, context-sensitive reasoning, and cooperative problem-solving strategies to improve the organization and accessibility of scientific knowledge. The multi-agent framework integrates state-of-the-art Natural Language Processing (NLP) techniques, transformer-based architectures, and knowledge graph methodologies to provide a more nuanced understanding of scientific texts. By doing so, it enables automated cross-domain conceptual linking, validation of theoretical and experimental claims, and the seamless integration of newly acquired information into existing knowledge structures. Moreover, the system incorporates reinforcement learning mechanisms to continuously optimize its retrieval and synthesis processes based on user interactions and evolving research trends. Beyond its immediate applications in knowledge retrieval, the proposed system fosters a paradigm shift in how scientific research is conducted, promoting more effective interdisciplinary collaboration and accelerating the development of innovative ideas. By facilitating automated synthesis of vast scientific corpora, it enables researchers to explore novel hypotheses, detect previously unrecognized connections between fields, and refine theoretical models with enhanced precision. Additionally, the ability of AI agents to autonomously process complex information reduces cognitive load on researchers, allowing them to focus on higher-order analytical



tasks and creative problem-solving. This study contributes to the field of scientific knowledge management by introducing a scalable and adaptive AI-driven framework capable of supporting research in high-information-density environments. By bridging the gaps between disparate scientific disciplines and facilitating intelligent, real-time knowledge synthesis, the proposed system has the potential to revolutionize the way researchers interact with and utilize scientific information, ultimately advancing the efficiency and impact of knowledge discovery in the modern research landscape.

Designer in the Loop: l'Evoluzione del Design Nautico nell'Era dell'Intelligenza Artificiale

Idea 2025 – investigating design in architecture– ISSN: 1720-075X; GUD Special Edition “Idea” -

Genoa, 18 Marzo 2025

ISBN: 9771720075005

Reperibile su: <https://www.stefanotermaninieditore.it/portale/gud-design-2/gud-special-edition-2025-idea/>

Abstract

The landscape of naval design is undergoing a transformative revolution through the strategic integration of artificial intelligence, fundamentally reshaping the design process whilst preserving the central role of human creativity. This research, conducted at the University of Genoa, introduces an innovative "Emotional-Enhanced Design" paradigm that leverages advanced AI technologies to amplify designers' natural capabilities rather than replace them.

The proposed methodology represents a significant departure from traditional design approaches, introducing a four-phase process that fundamentally reimagines how nautical design is conceived and executed. The first phase employs sophisticated emotion recognition technologies, including facial expression analysis, vocal tone evaluation and semantic sentiment analysis, enabling designers to gain unprecedented insights into client preferences and emotional responses. The second phase utilises an intelligent agent for comprehensive competitor analysis, automating the collection and organisation of market data. The third phase integrates generative AI tools to rapidly transform initial sketches into 3D models, whilst the fourth phase implements virtual reality and biometric sensing for immersive design validation. The key innovation lies in maintaining the designer as the primary creative agent whilst providing powerful AI-driven tools that enhance understanding and ideation. Preliminary findings demonstrate remarkable advantages, including a 50% reduction in concept development time through automated competitor analysis and enhanced emotional understanding, and a 30% reduction in 3D modelling time through AI-assisted generation. The research suggests that the future of nautical design lies not in technological replacement, but in a harmonious collaboration between human creativity and artificial intelligence, where technology serves as an amplification tool for human expertise.

Future developments will focus on refining the virtual reality experience with advanced haptic technologies, implementing predictive user behaviour analysis, and developing a comprehensive knowledge base derived from accumulated project data. This approach represents a paradigmatic shift in understanding design as a deeply empathetic, technology-enhanced creative process that maintains the designer's central role whilst significantly improving efficiency and client satisfaction.

Smart Classrooms Of The Future: Ai-Driven Support For Teachers And Students

The 5th International Conference on Artificial Intelligence, Smart Technologies and Engineering Applications (INVENT-2025) - Bologna, April 25th – 27th, 2025

Reperibile su: <https://inventconference.com/wp-content/uploads/2025/06/INVENT-BOOK-OF-ABSTRACTS-2025.pdf>

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is revolutionizing education by enhancing personalized learning and student well-being. This study presents an AI-Driven Classroom Council, a multi-agent system designed to support teaching, foster collaboration, and monitor students' emotional states. Specialized AI agents—virtual teachers, tutors, psychologists, and SEN advisors—work together to create an inclusive learning environment. Case studies highlight AI-assisted STEM support and concept mapping for SEN students. Ethical concerns are addressed through expert supervision. Findings show reduced academic stress, improved engagement, and personalized learning. This research explores AI's potential to transform digital education while ensuring fairness, privacy, and scalability.



The Integration of AI Technologies in Yacht Design Process: Enhancing Traditional Methodologies from Requirements to Operations

NAV 2025 18 th -20 th June 2025 - Messina

ISBN: 978-1-64368-610-3

DOI: 10.3233/PMST250128

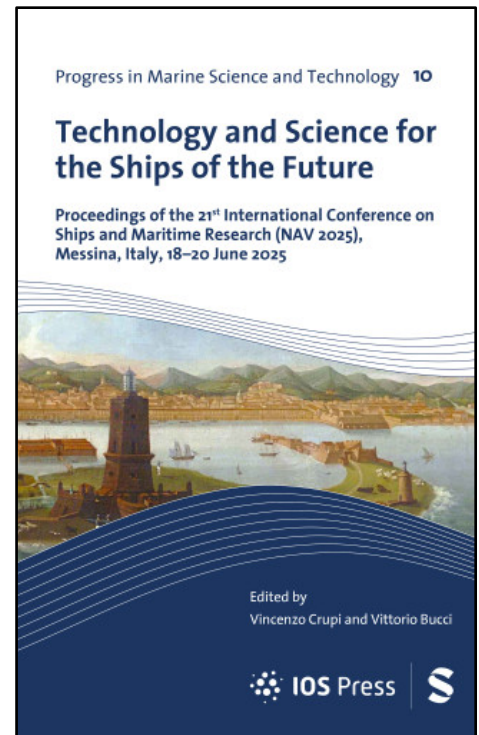
Reperibile su: <https://indico.atenanazionale.org/event/9/abstracts/>

Abstract

This paper proposes a theoretical framework for integrating artificial intelligence technologies throughout the yacht design process, aiming to enhance both the traditional design spiral and V-model methodologies. The proposed approach begins at the requirements definition phase, where AI-powered emotion recognition and natural language processing could analyse client interviews, interpreting facial expressions, tone of voice, and emotional responses to design proposals, potentially ensuring a more precise understanding of owner preferences.

The framework envisions the implementation of AI tools through various design stages, with machine learning algorithms optimising hull parameters to enhance vessel performance and onboard comfort. Generative AI could accelerate the concept phase by rapidly producing and evaluating multiple design alternatives while considering complex constraints such as stability requirements, hydrodynamic performance, and spatial arrangements. This systematic integration extends beyond the design phase to the operational lifecycle of the vessel, where AI-driven comfort monitoring systems could analyse passenger emotions through computer vision, automatically adjusting onboard settings including temperature, lighting ambiance, and audio environments.

Our theoretical analysis suggests how this AI-enhanced approach could potentially reduce iteration time within the design spiral while enhancing the verification and validation phases of the V-model. The paper addresses both the anticipated benefits and current limitations of AI implementation in yacht design, proposing a framework for effective human-AI collaboration that could transform how naval architects approach luxury yacht design in the digital age.



Emotional Intelligence In AI Educational Agents: A Framework For Personalized Learning Experiences

18th annual International Conference of Education, Research and Innovation – ICERI 2025

Seville (Spain), 10th-12th November, 2025

ISBN: 978-84-09-78706-7

Format: Electronic Conference Proceedings.

DOI: 10.21125/iceri.2025

Reperibile su: <https://iased.org/iceri/>

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is rapidly evolving in educational contexts, offering unprecedented opportunities for personalised learning. However, most AI-based educational systems still lack the capacity to recognise and respond appropriately to students' emotional states, creating a significant gap in their effectiveness as learning facilitators. This research introduces a theoretical multi-agent framework designed to enhance the educational experience by integrating affective computing with adaptive pedagogical strategies. The proposed system, "Affective Educational Agent Network" (AEAN), builds upon our previous work on classroom multi-agent systems, incorporating specialised AI agents that collaborate to detect, interpret, and respond to students' emotional states.



The framework includes:

1. an Emotion Recognition Agent utilising computer vision and natural language processing;
2. a Learning Profile Agent that maps emotional patterns to learning preferences;
3. an Adaptive Content Agent that modifies educational materials; and
4. a Pedagogical Strategy Agent that adjusts teaching approaches.

An innovative feature of the framework is the integration of realistic virtual avatars simulating various educational figures: teachers conducting assessments in a protected environment to reduce evaluation anxiety; historical figures or authors directly explaining their works; laboratory experts guiding virtual experiments. Using advanced image and video generation technologies like Sora, these avatars can simulate complex scientific experiments, making abstract concepts visible and enhancing comprehension through immersive experiences. The proposed methodology combines multimodal emotion detection (facial expressions, voice analysis, and interaction patterns) with machine learning algorithms trained to recognise subtle indicators of engagement, confusion, frustration, and satisfaction. The system employs reinforcement learning to continuously refine its emotional intelligence, creating increasingly accurate personalised responses.

In the near future, the framework is designed to integrate emerging technologies such as Google's Project Gemini and OpenAI's GPT-4 Vision, which will enable educational agents to "see" and interact with the student's

physical environment. This functionality will allow advanced contextual assistance, such as recognition of physical teaching materials, identification of errors in laboratory experiments in real time, and the ability to provide direct visual support in learning spaces, both virtual and physical.

The AEAN framework is currently under review by the university ethics committee, with the aim of implementing a rigorous development protocol that ensures the protection of student data and the ethical use of AI technology in educational contexts. The proposed pilot study envisages gradual implementation of the system, beginning with basic emotional recognition modules and progressing towards more complex interactions based on avatars and artificial vision technologies.

The integration of emotional intelligence into AI educational agents represents a crucial advancement in educational technology, addressing the often-overlooked affective dimension of learning. This approach bridges the gap between technological innovation and human-centred pedagogy, acknowledging that effective learning is as much an emotional process as it is cognitive.

BIBLIOGRAFIA ACCADEMICA

- [1] Aboalsamh, H., Belwafi, K., Aledaily, A., & Gannouni, S. (2021). Emotion detection using electroencephalography signals and a zero-time windowing-based epoch estimation and relevant electrode identification. *Scientific Reports*, 11(1), 7071. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86345-5>
- [2] Ahmad, I. (2020). 40 algorithms every programmer should know: Hone your problem-solving skills by learning different algorithms and their implementation in Python. Packt Publishing.
- [3] Ackerman, B. P., Abe, J. A. A., & Izard, C. E. (1998). Differential Emotions Theory and Emotional Development. In M. F. Mascolo & S. Griffin (Eds.), *What Develops in Emotional Development?* (pp. 85–106). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1939-7_4
- [4] Alier, M., Pereira, J., García-Peñalvo, F. J., Casañ, M. J., & Cabré, J. (2025). LAMB: An open-source software framework to create artificial intelligence assistants deployed and integrated into learning management systems. *Computer Standards & Interfaces*, 92, 103940. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2024.103940>
- [5] Alkan, A. D., Yıldız Teknik Üniversitesi, & Yıldız Teknik Üniversitesi. (2014). INT-NAM 2014: 2nd International Symposium on Naval Architecture and Maritime. Istanbul: Yıldız Technical University.
- [6] Andreassi, J. L. (2013). *Psychophysiology: Human behavior and physiological response* (5th ed.). Psychology Press.
- [7] Bagazinski, N. J., & Ahmed, F. (2023). ShipGen: A Diffusion Model for Parametric Ship Hull Generation with Multiple Objectives and Constraints. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), 2215. <https://doi.org/10.3390/jmse11122215>
- [8] Baillifard, A., Gabella, M., Lavenex, P. B., & Martarelli, C. S. (2025). Effective learning with a personal AI tutor: A case study. *Education and Information Technologies*, 30(1), 297–312. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12888-5>
- [9] Bălan, O., Moise, G., Petrescu, L., Moldoveanu, A., Leordeanu, M., & Moldoveanu, F. (2019). Emotion Classification Based on Biophysical Signals and Machine Learning Techniques. *Symmetry*, 12(1), 21. <https://doi.org/10.3390/sym12010021>
- [10] Baltrušaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L.-P. (2018). Multimodal machine learning: A survey and taxonomy. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(1), 194–219. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2696843>
- [11] Barker, D., Tippireddy, M. K. R., Farhan, A., & Ahmed, B. (2025). Ethical Considerations in Emotion Recognition Research. *Psychology International*, 7(2), 43. <https://doi.org/10.3390/psycholint7020043>
- [12] Barrett, L. F. (2017). *How emotions are made: The secret life of the brain*. Houghton Mifflin Harcourt.
- [13] Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional expressions reconsidered: Challenges to inferring emotion from human facial movements. *Psychological Science in the Public Interest*, 20(1), 1–68. <https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- [14] Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional expressions reconsidered: Challenges to inferring emotion from human

- facial movements. *Psychological Science in the Public Interest*, 20(1), 1–68.
<https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- [15] Barrett, L. F. (2020). Seven and a half lessons about the brain. New York, NY: Houghton Mifflin Harcourt.
- [16] Barrett, L. F. (2021). 7 lezioni e 1/2 sul cervello. Milano: Il Saggiatore.
- [17] Bennett, P. B., & Elliott, D. H. (Eds.). (2003). The physiology and medicine of diving (5th ed.). Saunders.
- [18] Bertirotti, A. (2022). Il design in mente. Il Pozzo di Micene.
- [19] Bettiga, D., Lamberti, L., & Noci, G. (2017). Do mind and body agree? Unconscious versus conscious arousal in product attitude formation. *Journal of Business Research*, 75, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.02.008>
- [20] Bonato, P. (2010). Wearable sensors and systems. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 29(3), 25–36. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2010.936548>
- [21] Bottero, M. (2025). Systems engineering method and tools for capability-based approach in naval ships design [Doctoral dissertation, Università degli Studi di Genova]. https://doi.org/10.15167/bottero-mattia_phd2025-05-30
- [22] Bottero, M., & Gualeni, P. (2024). Systems Engineering for Naval Ship Design Evolution. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 210. <https://doi.org/10.3390/jmse12020210>
- [23] Bottero, M., & Gualeni, P. (2022). Systems engineering and ship design: A synergy for getting the right design and the design right. *Progress in Marine Science and Technology*, 1–8.
- [24] Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The Self-Assessment Manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- [25] Bridger, D. (2017). Neuro design: Neuromarketing insights to boost engagement and profitability. Kogan Page.
- [26] Bucci, V. (2013). Progettazione di imbarcazioni da diporto – Dispense. Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria e Architettura.
- [27] Cabanac, M. (2002). What is emotion? *Behavioural Processes*, 60(2), 69–83. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(02\)00078-5](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(02)00078-5)
- [28] Calvano, M., Curci, A., Desolda, G., Esposito, A., Lanzilotti, R., Piccinno, A. (2025). Building Symbiotic AI: Reviewing the AI Act for a Human-Centred, Principle-Based Framework.
- Un articolo che valuta l’AI Act dal punto di vista del design simbiotico umano-AI, e propone principi per sistemi human-centred compatibili con la normativa europea.
- [29] Caruana, F., & Viola, M. (2018). Come funzionano le emozioni. Il Mulino.
- [30] Cash, P., Stanković, T., & Štorga, M. (Eds.). (2016). Experimental design research. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33781-4>
- [31] Castaneda, D., Esparza, A., Ghamari, M., Soltanpur, C., & Nazeran, H. (2018). A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care. *Sensors*, 18(9), 2809. <https://doi.org/10.3390/s18092809>
 (Nota: la review cita anche applicazioni in ambienti estremi, utile per il contesto subacqueo.)
- [32] Chakrabarti, A., & Lindemann, U. (Eds.). (2016). Impact of design research on industrial practice. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19449-3>

- [33] Cimtay, Y., Ekmekcioglu, E., & Caglar-Ozhan, S. (2020). Cross-subject multimodal emotion recognition based on hybrid fusion. *IEEE Access*, 8, 168865–168878. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3023871>
- [34] Clark, E. A., Kessinger, J., Duncan, S. E., Bell, M. A., Lahne, J., Gallagher, D. L., & O’Keefe, S. F. (2020). The Facial Action Coding System for characterization of human affective response to consumer product-based stimuli: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00920>
- [35] Cohen S, Williamson G. Perceived stress in a probability sample of the United States. In S. Spacapan & S. Oskamp (Eds.) 1988. *The social psychology of health: Claremont Symposium on applied social psyc* Newbury Park, CA: Sage
- [36] Costantini, G., Iadarola, I., Paoloni, A., & Todisco, M. (n.d.). EMOVO Corpus: An Italian Emotional Speech Database.
- [37] Coyne, R. (1995). *Designing information technology in the postmodern age: From method to metaphor*. Cambridge, MA: MIT Press
- [38] Cucker, F., & Zhou, D.-X. (2007). *Learning theory: An approximation theory viewpoint*. Cambridge University Press.
- [39] Dai, Y., Wang, X., Zhang, P., Zhang, W., & Chen, J. (2018). *Sparsity constrained differential evolution enabled feature-channel-sample hybrid selection for daily-life EEG emotion recognition*. *Multimedia Tools and Applications*, 77, 21967–21994. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5618-0>
- [40] Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York, NY: Putnam Publishing.
- [41] Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): A new 730-picture database focusing on valence and normative significance. *Behavior Research Methods*, 43(2), 468–477. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0064-1>
- [42] Degiuli, N., Valčić, M., Bucci, V., & Braidotti, L. (Eds.). (2024). *Theory and practice of shipbuilding: Proceedings of the 26th Symposium (SORTA 2024)*, Zadar, Croatia, 2–5 October 2024. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/PMST9>
- [43] Dignum, V. (2023). Responsible artificial intelligence: Recommendations and lessons learned. In D. O. Eke, K. Wakunuma, & S. Akintoye (Eds.), *Responsible AI in Africa: Challenges and Opportunities* (pp. 195–214). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08215-3_9
- [44] Dinata, A. R., Hardiansyah, F., & Sari, J. F. (2025). Designing Emotionally Adaptive Interfaces: Affective Ux Model For Enhancing Engagement In Gamified Learning Apps. *International Journal of Graphic Design*, 3(2), 247–262. <https://doi.org/10.51903/ijgd.v3i2.3098>
- [45] Doderò, M., Bertagna, S., Braidotti, L., Marinò, A., & Bucci, V. (2022). Ship design assessment through virtual prototypes. *Procedia Computer Science*, 200, 1227–1236. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.323>
- [46] Dourish, P. (2001). *Where the action is: The foundations of embodied interaction*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [47] Dresch, A., Lacerda, D. P., & Antunes, J. A. V. Jr. (2015). *Design science research: A method for science and technology advancement*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3>
- [48] Dupré, D., Krumhuber, E., Küster, D., & McKeown, G. (2019). Emotion recognition in humans and machine using posed and spontaneous facial expression. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/kzhds>

- [49] Ekman, P. (2004). Emotions revealed. *BMJ*, 328(Suppl S5), 0405184. <https://doi.org/10.1136/sbmj.0405184>
- [50] Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial Action Coding System: A technique for the measurement of facial movement*. Consulting Psychologists Press.
- [51] Ekman, P., & Friesen, W. V. (2019). Facial Action Coding System [Dataset]. American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/t27734-000>
- [52] Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6(3–4), 169–200.
- [53] Ekman, P., & Rosenberg, E. L. (Eds.). (2005). *What the face reveals: Basic and applied studies of spontaneous expression using the facial action coding system* (2nd ed.). Oxford University Press.
- [54] Eyben, F., Scherer, K. R., Schuller, B. W., Sundberg, J., Andreotti, J., & Vinciarelli, A. (2016). The Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS) for voice research and affective computing. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 7(2), 190–202. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2015.2457417>
- [55] Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- [56] Fedotov, D., Matsuda, Y., & Minker, W. (2019). From smart to personal environment: Integrating emotion recognition into smart houses. *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, 943–948. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2019.8730876>
- [57] Floridi, L. (2020) *The Logic of Information*, Oxford, UK: Oxford University Press.
- [58] Gannouni, S., Aledaily, A., Belwafi, K., & Aboalsamh, H. (2021). Emotion detection using electroencephalography signals... *Scientific Reports*, 11(1), 7071. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86345-5>
- [59] Gemelli, P., Pagani, L., & Zignego, M. I. (2024). Predicting sailing yacht hull resistance using Gaussian process regression. In A. Marinò, S. Bertagna, V. Bucci, & L. Braidotti (Eds.), *Progress in Marine Science and Technology*. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/PMST240010>
- [60] Ghiselin, M., Ekman, P., & Gruber, H. E. (1974). *Darwin and facial expression: A century of research in review*. Academic Press.
- [61] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- [62] Guo, J. (2022). Deep learning approach to text analysis for human emotion detection from big data. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 113–126. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0001>
- [63] Guo R, Guo H, Wang L, Chen M, Yang D, Li B. Development and application of emotion recognition technology - a systematic literature review. *BMC Psychol.* 2024 Feb 24;12(1):95. doi: 10.1186/s40359-024-01581-4. PMID: 38402398; PMCID: PMC10894494.
- [64] Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). *Multiple view geometry in computer vision* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [65] Islam, M., Moni, M. A., Rashed-Al-Mahfuz, M., Hasan, M. K., Hossain, M. S., Ahmad, M., Uddin, S., Azad, A., Alyami, S., Ahad, M. A. R., & Lio, P. (2021). Emotion Recognition From EEG Signal Focusing on Deep Learning and Shallow Learning Techniques. *IEEE Access*, 9, 94601–94624. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3091487>
- [66] Izard, C. E. (1977). *Human emotions*. New York, NY: Plenum Press.
- [67] Izard, C. E. (1991). *The psychology of emotions*. New York, NY: Plenum Press.
- [68] James, W. (1884). What is an Emotion? *Mind*, 9(34), 188–205.

- [69] Karczewski, A., & Kozak, J. (2017). Variant designing in the preliminary small ship design process. *Polish Maritime Research*, 24(2), 77–82. <https://doi.org/10.1515/pomr-2017-0052>
- [70] Khan, A. R. (2022). Facial emotion recognition using conventional machine learning and deep learning methods: Current achievements, analysis and remaining challenges. *Information*, 13(6), 268. <https://doi.org/10.3390/info13060268>
- [71] Kipli, K., Latip, A. A. A., Lias, K., Bateni, N., Yusoff, S. M., Suud, J., Jalil, M. A., Ray, K., Kaiser, M. S., & Mahmud, M. (2022). Evaluation of galvanic skin response (GSR) signal features for emotion recognition. In M. Mahmud, C. Ieracitano, M. S. Kaiser, N. Mammone, & F. C. Morabito (Eds.), *Applied Intelligence and Informatics* (pp. 260–274). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24801-6_19
- [72] Kleinsmith, A., & Bianchi-Berthouze, N. (2013). Affective body expression perception and recognition: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 4(1), 15–33. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2012.16>
- [73] Kolarevic, B. (Ed.). (2003). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. London, UK: Taylor & Francis.
- [74] Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394–421. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>
- [75] Kurdi, B., Lozano, S., & Banaji, M. R. (2017). Introducing the Open Affective Standardized Image Set (OASIS). *Behavior Research Methods*, 49(2), 457–470. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0715-3>
- [76] Ladd, G., Haak, T., & Pollock, N. W. (2016). Monitoring diver physiology: Current status and future needs. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 46(3), 150–156.
- [77] La Monaca, U., Bertagna, S., Marinò, A., & Bucci, V. (2020). Integrated ship design: An innovative methodological approach enabled by new generation computer tools. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(1), 59–76. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00612-4>
- [78] Larsson, L., Eliasson, R. E., & Orych, M. (2016). *Principles of yacht design* (Fourth edition). International Marine/McGraw-Hill Education.
- [79] Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York, NY: Oxford University Press.
- [80] Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. New York, NY: Springer.
- [81] Lee, S., Han, S., & Jun, S. C. (2018). EEG hyperscanning for eight or more persons—Feasibility study for emotion recognition using deep learning technique. In *2018 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)* (pp. 488–492). IEEE. <https://doi.org/10.23919/APSIPA.2018.8659738>
- [82] Levy, J. A., & Duke, M. P. (2003). The use of Laban movement analysis in the study of personality, emotional state and movement style: An exploratory investigation of the veridicality of body language. *Individual Differences Research*, 1(1), 39–63.
- [83] Li, H., Nourkhiz Mahjoub, H., Chalaki, B., Tadiparthi, V., Lee, K., Moradi Pari, E., Lewis, C., & Sycara, K. (2025). Language grounded multi-agent reinforcement learning with human-interpretable communication. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 37, 87908–87933.
- [84] Ma, X., & Ping, W. (2019). Design Spiral. In *Encyclopedia of Ocean Engineering* (pp. 1–11). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6963-5_63-1
- [85] Maiocchi, M. (2015). *The neuroscientific basis of successful design*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02801-9>

- [86] Marchewka, A., Żurawski, Ł., Jednoróg, K., & Grabowska, A. (2014). The Nencki Affective Picture System (NAPS): Introduction to a novel, standardized, wide-range, high-quality, realistic picture database. *Behavior Research Methods*, 46(2), 596–610. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0379-1>
- [87] Marraffa, M., & Viola, M. (2017). *Le emozioni. Che cosa sono, come funzionano, perché ci rendono umani*. Roma, IT: Carocci Editore.
- [88] Massimo Marraffa, & Viola, M. (2017). Quale mappa per il dominio delle emozioni? *Sistemi Intelligenti*, 1, 85–108. <https://doi.org/10.1422/86619>
- [89] Mehrabian, A., & Russell, J. A. (1974). *An approach to environmental psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [90] Mollahosseini, A., Hasani, B., & Mahoor, M. H. (2019). AffectNet: A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 10(1), 18–31. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2017.2740923>
- [91] Mousavi, S. M. H., Khaertdinov, B., Jeuris, P., Hortal, E., Andreoletti, D., & Giordano, S. (2023). Emotion Recognition in Adaptive Virtual Reality Settings: Challenges and Opportunities. *CEUR Workshop Proceedings*, 3517, 1-20. Article 193704. <https://ceur-ws.org/Vol-3517/paper1.pdf>
- [92] Norman, D. A. (1988). *The design of everyday things*. New York, NY: Basic Books.
- [93] Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. New York, NY: Basic Books.
- [94] Norman, D. A. (2007). *The design of future things*. New York, NY: Basic Books.
- [95] Norman, D. A. (2010). *Living with complexity*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [96] Norman, D. (2013) *The Design of Everyday Things*. Cambridge, MA: MIT Press
- [97] Oxman, N. (2025). *Mediated matter: Design and invention in the new biological age*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [98] Padolecchia, D., Bertagna, S., Braidotti, L. et al. Evaluating Virtual Prototyping Approaches in Integrated Ship Design: A Case-Based Analysis. *Int J Interact Des Manuf* (2025). <https://doi.org/10.1007/s12008-025-02370-y>
- [99] Pagani, L. (2024). *Navigating emotions: A multimodal approach to redefining nautical design*.
- [100] Pagani, L., Bertirotti, A., Gemelli, P., & Zignego, M. (2023a). Quantifying human factor in ships operation via an AI-based emotions recognition, ISBN: 978-605-4123-32-2.
- [101] Pagani, L., Bertirotti, A., Gemelli, P., & Zignego, M. (2023b). *Technology and neuroarchitecture* (Idea 2023 p. 119), ISBN: 978-88-361-8215-2.
- [102] Pagani, L., Bertirotti, A., Zignego, M., & Gemelli, P. (2024). *Feel the space: Pioneering emotional intelligence in architecture*, ISBN: 978-981-97-4988-1.
- [103] Pagani, L., & Gemelli, P. (2024a). Enhancing leisure sailing experience through technology and artificial intelligence. *Progress in Marine Science and Technology*. <https://doi.org/10.3233/PMST240018>
- [104] Pagani, L., & Gemelli, P. (2024b). Leveraging artificial intelligence to enhance leisure sailing experience. *Progress in Marine Science and Technology*. <https://doi.org/10.3233/PMST9>
- [105] Pagani, L., Gemelli, P., Zignego, M., & Bertirotti, A. (2024). AI-powered emotion recognition for maritime safety enhancement. In *15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024)*. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004824>

- [105] Pagani, L., Zignego, M., Bertirotti, A., & Gemelli, P. (2023). Neurodesign: A game-changer in educational contexts. In *Learn X Design Conference Series*. <https://doi.org/10.21606/drsldx.2024.014>
- [106] Pagani, L., Gemelli, P., Zignego, M. I., & Bertirotti, A. (2025). The Integration of AI Technologies in Modern Yacht Design Methodology. In V. Crupi & V. Bucci (A c. Di), *Progress in Marine Science and Technology*. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/PMST250128>
- [107] Pagani, L., Gemelli, P., Zignego, M. I., & Bertirotti, A. (2025). Designer in the Loop: : L'Evoluzione del Design Nautico nell'Era dell'Intelligenza Artificiale (Stefano tremarini). <https://www.stefanotermaninieditore.it/portale/gud-design-2/gud-special-edition-2025-idea/>
- [108] Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. Oxford, UK: Oxford University Press
- [109] Papagiannidis, Emmanouil, et al. "Responsible Artificial Intelligence Governance: A Review and Research Framework." *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 34, no. 2, 2025, p. 101885, <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101885>.
- [110] Paris, L., & De Carlo, L. (A c. Di). (2019). *Le linee curve per l'architettura e il design*. Franco Angeli.
- [111] Peuter, Sebastiaan De, et al. "Toward AI Assistants That Let Designers Design." arXiv:2107.13074, arXiv, 22 July 2021, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.13074>.
- [112] Picard, R. W. (2000). *Affective computing* (1. paperback ed). MIT Press.
- [113] Plattner, H., Meinel, C., & Leifer, L. (Eds.). (2016). *Design thinking research: Taking breakthrough innovation home*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-40382-3>
- [114] Plutchik, R. (1980). *Emotion: A psychoevolutionary synthesis*. New York, NY: Harper & Row.
- [115] Pollock, N. W. (2007). Respiratory physiology in diving. *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 34(3), 163–174.
- [116] Riegel, M., Żurawski, Ł., Wierzba, M., Moslehi, A., Klocek, Ł., Horvat, M., Grabowska, A., Michałowski, J., Jednoróg, K., & Marchewka, A. (2016). Characterization of the Nencki Affective Picture System by discrete emotional categories (NAPS BE). *Behavior Research Methods*, 48(2), 600–612. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0620-1>
- [117] Razzaq, M. A., Hussain, J., Bang, J., Hua, C.-H., Satti, F. A., Rehman, U. U., Bilal, H. S. M., Kim, S. T., & Lee, S. (2023). A Hybrid Multimodal Emotion Recognition Framework for UX Evaluation Using Generalized Mixture Functions. *Sensors*, 23(9), 4373. <https://doi.org/10.3390/s2309437>
- [118] Rovetta, S., Mnasri, Z., Masulli, F., & Cabri, A. (2020). Emotion recognition from speech: An unsupervised learning approach. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14(1), 23. <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.201019.002>
- [119] Russell, J. A., Lewicka, M., & Niit, T. (1989). A cross-cultural study of a circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(5), 848–856. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.57.5.848>
- [120] Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- [121] Sacco, G. (2021). Il dibattito sulla teoria delle emozioni nella Retorica di Aristotele. *Rivista di filosofia*, 2, 263–280. <https://doi.org/10.1413/101185>

- [122] Saporito, A. (2021). Sviluppo di metodologie di progettazione integrata per barche a vela da competizione. Università degli Studi di Palermo.
- [123] Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information*, 44(4), 695–729. <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>
- [124] Scherer, K. R. (2016). Trends and developments: Research on emotions. *Social Science Information*, 55(2), 173–184.
- [125] Scherer, K. R. (2003). Vocal communication of emotion: A review. *Speech Communication*, 40(1–2), 227–256. [https://doi.org/10.1016/S0167-6393\(02\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0167-6393(02)00084-5)
- [126] Semeraro, Alfonso & Vilella, Salvatore & Ruffo, Giancarlo. (2021). PyPlutchik: Visualising and comparing emotion-annotated corpora. PLOS ONE. 16. e0256503. [10.1371/journal.pone.0256503](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256503).
- [127] Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019>
- [128] Shukla, Amit K., et al. “AI as a User of AI: Towards Responsible Autonomy.” *Heliyon*, vol. 10, no. 11, 2024, p. e31397, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31397>.
- [129] Solomon, R. C. (2024, May 16). Emotion. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/emotion>
- [130] Stanton, N. A., Salmon, P. M., Rafferty, L. A., Walker, G. H., Baber, C., & Jenkins, D. P. (2017). *Human factors methods: A practical guide for engineering and design* (2nd ed.). CRC Press.
- [131] Stegagno, L. (2020). *Il cuore psicologico: Psicofisiologia cardiovascolare* (1st ed.). Carocci Faber.
- [132] Steinwart, I., & Christmann, A. (2008). *Support vector machines*. Springer.
- [133] Vacek, Daniela. “Responsible Artificial Intelligence?” *AI & SOCIETY*, Sept. 2025, <https://doi.org/10.1007/s00146-025-02604-3>.
- [134] Venkatesh, P., & Babu, J. D. (2016). Automatic expression recognition and expertise prediction in Bharatnatyam. In *2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)* (pp. 1864–1869). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2016.7732321>
- [135] Vossen, Christina & Kleppe, Robert & Hjørungnes, Siv. (2013). Ship Design and System Integration.
- [136] Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>
- [137] Yang, L.; Yang, J.; Cao, C.; Li, M.; Fei, P.; Liu, Q. Multimodal Emotion Recognition for Seafarers: A Framework Integrating Improved D-S Theory and Calibration: A Case Study of a Real Navigation Experiment. *Appl. Sci.* 2025, 15, 9253. <https://doi.org/10.3390/app15179253>
- [138] Yonekura, Kazuo, et al. “Designing Ship Hull Forms Using Generative Adversarial Networks.” *AI*, vol. 6, no. 6, June 2025, p. 129, <https://doi.org/10.3390/ai6060129>.
- [139] Zhang, Q., Chen, X., Zhan, Q., Yang, T., & Xia, S. (2017). Respiration-based emotion recognition with deep learning. *Computers in Industry*, 92–93, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.005>

- [140] Zignego, M. I., Gemelli, P. A., & Bertirotti, A. (2022). A Smart Mockup for an Innovative Interior Yacht Design Approach. In E. Rizzuto & V. Ruggiero (A c. Di), *Progress in Marine Science and Technology*. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/PMST220055>

FONTI TECNICHE E NORMATIVE

- [T1] European Commission. (2024). *Regolamento (UE) 2024/1689 – Normativa sull'intelligenza artificiale (AI Act)*. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/ita>
- [T2] European Parliament. (2023, June 13). *Normativa sull'IA: La prima regolamentazione sull'intelligenza artificiale*. Tematiche | Parlamento europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230601STO93804/normativa-sull-ia-la-prima-regolamentazione-sull-intelligenza-artificiale>
- [T3] European Union. (n.d.). *Digital strategy*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu>
- [T4] Microsoft Corporation. (2022, June 21). *Microsoft's framework for building AI systems responsibly*. Microsoft On the Issues. <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2022/06/21/microsofts-framework-for-building-ai-systems-responsibly>
- [T5] Prighter.com. (2024). *EU AI Act: Timeline, key dates & implications*. <https://prighter.com/resources/eu-artificial-intelligence-act-timeline-implications>
- [T6] Rizzuto, E. (with contribution by Ruggiero, V.). (2022). *Technology and science for the ships of the future: Proceedings of NAV 2022 – 20th International Conference on Ship and Maritime Research*. IOS Press.
- [T7] UNESCO. (n.d.). *Artificial intelligence and ethics: Global recommendations on the ethics of AI*. <https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence>
- [T8] U.S. Government Accountability Office. (n.d.). *Aviation security: TSA should limit future funding for behavior detection activities*. <https://www.gao.gov/products/gao-14-159>
- [T9] WFB Bremen Invest. (2025). *Artificial intelligence within the maritime industry*. <https://www.wfb-bremen.de/en/page/bremen-invest/artificial-intelligence-within-maritime-industry>
- [T10] Yildiz Technical University. (2014). *INT-NAM 2014: 2nd International Symposium on Naval Architecture and Maritime*. YTU Press.

SITOGRAFIA E SITI WEB

- [W1] Agenda Digitale. (n.d.). *Agenda Digitale – Notizie e approfondimenti sull'innovazione italiana*. <https://www.agendadigitale.eu>
- [W2] Affectiva. (n.d.). *MR Demo*. Recuperato 17 novembre 2022, da <https://demo.mr.affectiva.com/video/37/demo>
- [W3] Big Medium. (n.d.). *Why machine learning and AI matter for design teams*. <https://bigmedium.com/ideas/why-machine-learning-and-ai-matter-for-design-team.html>
- [W4] Boraso. (n.d.). *User experience design: 5 ragioni per conoscerlo e 10 slogan per praticarlo*. <https://www.boraso.com/blog/user-experience-design-5-ragioni-per-conoscerlo-e-10-slogan-per-praticarlo>

- [W5] Decoding the AI Act—Understanding the Impact on Organizations & Navigating the Future of Trustworthy AI / *LinkedIn*. (s.d.). Recuperato 10 agosto 2024, da <https://www.linkedin.com/pulse/decoding-ai-act-understanding-impact-organizations-future-kulthe-ma47f/>
- [W6] Dovetail Labs. (n.d.). *Thinking*. <https://dovetaillabs.com/thinking>
- [W7] Formae Mentis Group di Fabio Pandiscia. (n.d.). *Microespressioni online*. <https://group.formaementis.net/corsi-di-formazione/microespressioni-on-line/>
- [W8] Formae Mentis Group di Fabio Pandiscia. (n.d.). *Risorse gratuite*. <https://group.formaementis.net/risorse-gratuite/>
- [W9] Futurepedia.io. (n.d.). *The largest AI tools directory*. <https://www.futurepedia.io>
- [W10] Galactica. (n.d.). *Mission*. <https://galactica.org/mission/>
- [W11] GoToStage. (n.d.). *iMotions: Bringing neuroscience to your business school*. <https://www.gotostage.com/channel/0fa3a077892e40ffb78543a1f687d34c>
- [W12] GoToStage. (n.d.). *iMotions Webinar: What are emotions, and how do we measure them?* <https://www.gotostage.com/channel/0fa3a077892e40ffb78543a1f687d34c>
- [W13] iMotions. (2020, January 21). *The International Affective Picture System (IAPS): Explained and alternatives*. <https://imotions.com/blog/learning/research-fundamentals/iaps-international-affective-picture-system>
- [W14] iMotions. (2023, January 17). *Pupillometry 101: What you need to know*. <https://imotions.com/blog/learning/best-practice/pupillometry-101>
- [W15] iMotions. (2021, July 13). *What is EEG (electroencephalography) and how does it work?* <https://imotions.com/blog/learning/research-fundamentals/what-is-eeeg>
- [W16] LinkedIn. (2025, February 22). *What are the best ways to integrate artificial intelligence and automation into ship design and construction?* <https://www.linkedin.com/advice/0/what-best-ways-integrate-artificial-intelligence-w1epe>
- [W17] Medium – E. Lisowski. (2024, December 18). *AI agents vs agentic AI: What’s the difference and why does it matter?* <https://medium.com/@elisowski/ai-agents-vs-agentic-ai-whats-the-difference-and-why-does-it-matter-03159ee8c2b4>
- [W18] Medium – Toyota Research Institute. (n.d.). *Self-supervised learning in depth – Part 1 of 2*. <https://medium.com/toyotaresearch/self-supervised-learning-in-depth-part-1-of-2-74825baaaa04>
- [W19] Meshy AI. (n.d.). *The #1 AI 3D model generator for creators*. <https://www.meshy.ai>
- [W20] MorphCast. (n.d.). *Showcase*. <https://www.morphcast.com/showcase/>
- [W21] Padova Unicusano. (2018, May 10). *Espressioni facciali: Le emozioni e la mimica del viso*. <https://padova.unicusano.it/studiare-a-padova/espressioni-facciali/>
- [W22] Pheel – Physiology, Emotion and Experience Laboratory, Politecnico di Milano. (n.d.). *PHEEL Laboratory*. <https://www.polimi.it/ricerca/la-ricerca-al-politecnico/laboratori/laboratori-interdipartimentali/pheel-physiology-emotion-and-experience-laboratory>
- [W23] Repubblica.it. (2014, January 3). *La mappa delle emozioni: Così il corpo cambia temperatura*. https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/03/foto/la_mappa_delle_emozioni
- [W24] Siemens Simcenter Blog. (2025, February 13). *Pushing the boundaries of ship design and simulation with generative AI*. <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/ship-design-with-generative-ai>
- [W25] The Guardian – O. Schwartz. (2019, March 6). *Don’t look now: Why you should be worried about machines reading your emotions*.

- <https://www.theguardian.com/technology/2019/mar/06/facial-recognition-software-emotional-science>
- [W26] The Guardian. (2021, April 4). *Scientists create online games to show risks of AI emotion recognition*. <https://www.theguardian.com/technology/2021/apr/04/online-games-ai-emotion-recognition-emojify>
- [W27] The Verge – J. Vincent. (2019, July 25). *AI emotion recognition can't be trusted*. <https://www.theverge.com/2019/7/25/8929793/emotion-recognition-analysis-ai-machine-learning-facial-expression-review>
- [W28] The Verge – J. Vincent. (2022, June 21). *Microsoft to retire controversial facial recognition tool that claims to identify emotion*. <https://www.theverge.com/2022/6/21/23177016/microsoft-retires-emotion-recognition-azure-ai-tool-api>
- [W29] UNESCO. (n.d.). *Homepage*. <https://unesco.org>
- [W30] Yahoo Finance. (n.d.). *Introducing Mood: A new mobile app that lets users track how they feel with one tap a day*. <https://finance.yahoo.com/news/introducing-mood-mobile-app-lets-080300553.html>

ALTRE FONTI: DATASET, API, SOFTWARE, TOOL, LIBRERIE

- [D1] AffectNet. (2019). *A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild*. IEEE Transactions on Affective Computing.
- [D2] COSTANTINI, G., Iadarola, I., Paoloni, A., & Todisco, M. (n.d.). *EMOVO Corpus: An Italian Emotional Speech Database*.
- [D3] DALL-E 2. (n.d.). *AI image generation model*. OpenAI. <https://openai.com/dall-e-2>
- [D4] ElevenLabs. (2024). *Voice AI platform for speech synthesis and transcription*. <https://elevenlabs.io>
- [D5] GeMAPS Dataset. (2016). *The Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set for Voice Research and Affective Computing*. IEEE Transactions on Affective Computing.
- [D6] GitHub – Scikit-image. (n.d.). *skimage-tutorials: A collection of tutorials for the scikit-image package*. <https://github.com/scikit-image/skimage-tutorials>
- [D7] Hume AI. (2024). *Empathic AI emotion recognition platform*. <https://hume.ai>
- [D8] iMotions Platform. (n.d.). *Multimodal human behaviour research software*. <https://imotions.com>
- [D9] MLCC Material. (n.d.). *Master in Machine Learning and Computational Cognition*. Laboratory for Computational and Statistical Learning (LCSL). <http://lcs.mit.edu/courses/master/MLCC/material.html>
- [D10] MorphCast. (n.d.). *Emotion AI Video Frames Analyzer*. <https://www.morphcast.com/apps/frame-by-frame-video-analysis>
- [D11] Nencki Affective Picture System (NAPS). (2014). *Standardised emotional stimuli database*. Behavior Research Methods, 46(2), 596–610.
- [D12] OASIS Dataset. (2017). *Open Affective Standardized Image Set*. Behavior Research Methods, 49(2), 457–470.
- [D13] OLAF Dataset. (2016). *Open Library of Affective Foods*. Universidad de Granada.
- [D14] OpenCV. (n.d.). *Computer vision library – Documentation*. <https://docs.opencv.org>
- [D15] OpenFace. (n.d.). *Open-source facial behaviour analysis toolkit*. <https://github.com/TadasBaltrusaitis/OpenFace>

- [D16] OpenSMILE. (n.d.). *Open-source audio feature extraction toolkit*. <https://audeering.github.io/opensmile>
- [D17] Pupil Labs. (n.d.). *Eye-tracking research platform*. <https://pupil-labs.com>
- [D18] Python NumPy. (n.d.). *Python NumPy tutorial*. <https://cs231n.github.io/python-numpy-tutorial>
- [D19] Scikit-learn. (n.d.). *Machine learning library for Python*. <https://scikit-learn.org>
- [D20] Simcenter Siemens. (2025). *Building smarter vessels with digital twin technology*. Siemens Digital Industries Software.
- [D21] This Person Does Not Exist. (n.d.). *Synthetic face generation model*. <https://thispersondoesnotexist.com>
- [D22] Zero to AI. (n.d.). *Introduction to applied artificial intelligence*. Manning Publications. <https://www.manning.com/books/zero-to-ai>

ELENCO IMMAGINI

FIGURA 1: SPIRALE DI EVANS INTRODOTTA NEL 1959	10
FIGURA 2: LA SPIRALE DEL DESIGN NAUTICO DI LARSSON (IMMAGINE PRESA DAL LIBRO ORIGINALE DI LARSSON).....	11
FIGURA 3: IL V-MODEL NEL DESIGN NAVALE [23]	12
FIGURA 4: DIAGRAMMA VALENZA - AROUSAL	20
FIGURA 5: LA RETROAZIONE DI N. WIENER	27
FIGURA 6: DESIGNER IN THE LOOP	29
FIGURA 7: FRAMEWORK OPERATIVO DEL DITL	30
FIGURA 8: ARCHITETTURA DI UN AGENTE AI (AI AGENT).....	35
FIGURA 9: SISTEMA MULTI-AGENTE	38
FIGURA 10: VARIE TIPOLOGIE DI COMUNICAZIONI TRA PIÙ AGENTI	38
FIGURA 11: CICLO DI CREATIVITÀ AUMENTATA	39
FIGURA 12: SCHEMA DI UN ELLM	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 13: CLASSIFICAZIONE DELLE APPLICAZIONI AI.....	46
FIGURA 14: TIMELINE DELL'AI ACT	47
FIGURA 15: PARERE POSITIVO DEL CERA.....	49
FIGURA 16: IL SITO DEL GRUPPO DI RICERCA DIANA.....	50
FIGURA 17: EVOLUZIONE DELLE SPERIMENTAZIONI	53
FIGURA 18: MAPPING TRA FASI DEL DESIGN THINKING E SPERIMENTAZIONI DEL DOTTORATO.....	54
FIGURA 19: ESEMPIO DI DOMANDE DA INTERVISTA PER DETERMINARE GLI USER REQUIREMENTS.....	58
FIGURA 20: INTERVIEW WITH A CHATBOT	61
FIGURA 21: ESEMPIO DI FILE JSON PRODOTTO AL TERMINE DELL'INTERVISTA CON IL CHATBOT.....	62
FIGURA 22: INTERFACCIA DI ELEVENLABS PER LA CREAZIONE DELL'AGENTE CONVERSAZIONALE.....	63
FIGURA 23: CREAZIONE DELLA USER PERSONA SULLA BASE DELL'INTERVISTA	64
FIGURA 24: YACHT DESIGN GENERATOR WITH AI.....	65
FIGURA 25: EMOTION DETECTION CON IL SOFTWARE PROPRIETARIO SVILUPPATO.....	67
FIGURA 26: SCREENSHOT DELL'APP LATO DESIGNER.....	68
FIGURA 27: SCREENSHOT DELL'APP LATO CLIENTE	70
FIGURA 28: ESTRATTO DEL FILE RESULTS.CSV DELL'EMOTION ANALYSIS DI HUMEAI	70
FIGURA 29: RISULTATO DELL'AGENTE PREPOSTO A EFFETTUARE L'ANALISI DEI COMPETITOR.....	75
FIGURA 30: SCREENSHOT DELL'OUTPUT DEL PROGRAMMA IMAGE_GENERATION.PY	76
FIGURA 31: UTILIZZO DI SOFTWARE COME MESHY PER PASSARE DA UNO SKETCH A UN FILE 3D	77
FIGURA 32: USO DELL'AI NELLA PROGETTAZIONE NAVALE NAUTICA	80
FIGURA 33: SCREENSHOT DEL PROGRAMMA STREAMLIT PER IL CALCOLO DELL'RR	85
FIGURA 34: PRESTAZIONI DEL MODELLO	87
FIGURA 35: ECOSISTEMA MULTI-AGENTE	88
FIGURA 36: SCHEMA CONCETTUALE DEL FLUSSO DI ANALISI MULTIMODALE ADOTTATO.	93
FIGURA 37: SIMULATORE ECDIS	95
FIGURA 38: RISULTATI DELLE ANALISI DEI SISTEMI FER	96

FIGURA 39: SIMULATORE DI PLANCIA DI COMANDO.....	97
FIGURA 40: ANALISI DELL'INTERVISTA.....	98
FIGURA 41: ESTRATTO DEL QUESTIONARIO DI RILEVAZIONE DEGLI INTERVISTATI	99
FIGURA 42: VALUTAZIONE SECONDO LA SCALA VALENCE AROUSAL.....	100
FIGURA 43: ESPERIMENTO AL CAMPUS DI LA SPEZIA	101
FIGURA 44: INFLUENZA DELLE VARIE TIPOLOGIE DI IMMERSIONE SULLE FUNZIONI COGNITIVE.....	103
FIGURA 45: VARIAZIONE DEL BREATH RATE DURANTE OPERAZIONI IN IMMERSIONE.....	104
FIGURA 46: PARAMETRI RESPIRATORI E STATI EMOTIVI CORRELATI	105
FIGURA 47: PROGETTO ITS 4.0 DEL MIM.....	106
FIGURA 48: ANALISI DELLE EMOZIONI DURANTE OPERAZIONI CRITICHE	108
FIGURA 49: PIPELINE OPERATIVA DEL SISTEMA DESIGNER IN THE LOOP (DITL)	120
FIGURA 50: BEST STUDENT PAPER AWARD IN DESIGN AND ERGONOMICS SECTION.....	136

ELENCO TABELLE

TABELLA 1: CONFRONTO TRA SPIRALE DI EVANS, V-MODEL E APPROCCIO IBRIDO NEL DESIGN NAVALE	12
TABELLA 2: CONFRONTO DELLO STATO DI ADOZIONE DELLE TECNOLOGIE AI E DIGITALI NEL DESIGN NAUTICO.....	16
TABELLA 3: CARATTERISTICHE DELLE TEORIE DELLE EMOZIONI UTILIZZATE.....	19
TABELLA 4: COMPONENTI DELL'EMOZIONE (SECONDO IZARD, 1991).	20
TABELLA 5: APPLICAZIONI CROSS-SETTORE DELL'AFFECTIVE COMPUTING	21
TABELLA 6: CONFRONTO TRA LE PRINCIPALI TECNICHE DI ANALISI DELLE EMOZIONI	22
TABELLA 7: CONFRONTO TRA HITL E DITL.....	30
TABELLA 8: CICLO PERCEIVE–DECIDE–ACT–LEARN DI UN AGENTE AI	36
TABELLA 9: TIPOLOGIE DI AGENTI AI	36
TABELLA 10: CARATTERISTICHE DEL COMMITTENTE DI PROGETTO	57
TABELLA 11: ESEMPI DI GRAFICI VISUALIZZABILI.....	69
TABELLA 12: COMPARAZIONE TRA LE APP SVILUPPATE.....	72
TABELLA 13: TABELLA RIEPILOGATIVA DEGLI AGENTI DITL	82
TABELLA 14: SOFTWARE E FEATURE ANALIZZATE NEI TRE CANALI E NELL'INTEGRAZIONE MULTIMODALE	94
TABELLA 15: VALIDAZIONE DEL PARADIGMA DESIGNER IN THE LOOP ATTRAVERSO LE SPERIMENTAZIONI	110
TABELLA 16: PREGI E LIMITI DEL FACS.....	116
TABELLA 17: VANTAGGI E LIMITI DEL GEMAPS	117
TABELLA 18: ELENCO DEGLI STRUMENTI E DELLE PIATTAFORME USATE DURANTE LA RICERCA	122
TABELLA 19: ELENCO DATASET USATO PER ADDESTRARE I MODELLI AI.....	123