

**CAPITOLATO TECNICO**

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 1 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	UNITA' / NOME	FIRMA	DATA
PREPARATO	<i>Ing. Mauro Cardone (ASI)</i>		
VERIFICATO	<i>Ing. Mauro Cardone (ASI)</i>		
APPROVATO	<i>Ing. Giancarlo Varacalli (ASI)</i>		

Registro delle modifiche

Data	Sezione del documento / Motivo della revisione	Revisione
09-10-2023	Prima versione per l'emissione per Bando	A

ALLEGATI:

Vedi INDICE all'interno

DISTRIBUZIONE DEL DOCUMENTO:

Allegato al Bando



Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

INDICE

1.0	SCOPO E CAMPO D’APPLICAZIONE	3
2.0	DEFINIZIONI ED ACRONIMI.....	3
2.1	<i>DEFINIZIONI</i>	<i>3</i>
2.2	<i>ACRONIMI.....</i>	<i>3</i>
3.0	DOCUMENTAZIONE APPLICABILE E DI RIFERIMENTO	4
3.1	<i>DOCUMENTAZIONE APPLICABILE</i>	<i>4</i>
3.2	<i>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....</i>	<i>8</i>
3.3	<i>ORDINE DI PRECEDENZA</i>	<i>18</i>
4.0	OBIETTIVI ED ATTIVITA’	18
4.1	<i>CONTESTO DI RIFERIMENTO</i>	<i>18</i>
4.2	<i>DESCRIZIONE DELLA FORNITURA</i>	<i>18</i>
4.3	<i>OBIETTIVI DA CONSEGUIRE.....</i>	<i>25</i>
4.4	<i>DESCRIZIONE E REQUISITI DELLE ATTIVITA’</i>	<i>25</i>
4.5	<i>ALBERO DEL PRODOTTO.....</i>	<i>132</i>
4.6	<i>FILOSOFIA DI SVILUPPO E DEI MODELLI.....</i>	<i>132</i>
5.0	PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITA’ FASI ED EVENTI CHIAVE.....	132
5.1	<i>MILESTONE CONTRATTUALI</i>	<i>132</i>
6.0	FORNITURE DI RESPONSABILITA’ DELL’ASI.....	133
7.0	FORNITURA CONTRATTUALE.....	133
7.1	<i>HW/SW.....</i>	<i>133</i>
7.2	<i>MODELLI MATEMATICI E ALGORITMI</i>	<i>134</i>
7.3	<i>GESTIONE DELLA FORNITURA.....</i>	<i>134</i>
7.4	<i>DOCUMENTAZIONE</i>	<i>135</i>
8.0	PROPRIETA’ INTELLETTUALE	135

ALLEGATI

Allegato 1: Documentazione minima da consegnare



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 3 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

1.0 SCOPO E CAMPO D'APPLICAZIONE

Questo documento costituisce il Capitolato Tecnico (CT) allegato al bando tematico “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”.

I requisiti specificati nel presente documento devono essere resi applicabili a tutta la struttura industriale coinvolta nel processo d'Offerta.

2.0 DEFINIZIONI ED ACRONIMI

2.1 DEFINIZIONI

Le definizioni contenute nello standard ECSS-P-001 sono applicabili.

2.2 ACRONIMI

1D:	One Dimension	ERAIM:	Extended Raim
3D:	Three Dimensions	ERTMS	European Railway Traffic Management System
A/J:	Anti Jamming	EUSPA:	European Union Agency for the Space Program
A/S:	Anti Spoofing e Anti Meaconing	EMI:	Electromagnetic Interference
AL:	Alarm Limit	ERA:	European Railway Agency
AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring	EVC	ERTMS Vital Computer
ANSFISA:	Agenzia Nazionale della Sicurezza delle Ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali	EWLS:	Extended Weighted Least Square Solution
ASI:	Agenzia Spaziale Italiana	FDE:	Fault Detection and Isolation
ATP:	Along Track Position	FDAF:	Frequency Domain Adaptive Filtering
ATPE:	Along Track Position Error	FE:	Feared Event
ATPL:	Along Track Protection Level	FFIS:	Form-Fit Functional Interface Specification
A/S:	Anti Spoofing	FPGA:	Field Programmable Gate Array
AWGN:	Additive White Gaussian Noise	FMEA:	Failure Mode Effects Analysis
CBTC:	Communication Based Train Control	FTA:	Fault Tree Analysis
CCS:	Control Command System	FTTI:	Fault Tolerant Time Interval
CFI:	Customer Furnished Items	GPB1:	Generalized Pseudo-Bayesian 1
CI:	Configuration Item	GRAIL:	GNSS introduction in the RAIL Sector
CIDL:	Configuration Item Data List	HL3:	Hybrid Level 3
CoC:	Certificate di Conformità	HMI:	Hazardous Misleading Information
CS:	Constraint	IMM:	Interacting Multiple Model
COTS:	Commercial Off-the Shelf	IMU:	Inertial Measurement Unit
CRAIM:	Carrier RAIM	ICD:	Interface Control Document
DEL:	Deliverable	KO:	Kick-Off Meeting
DFMC:	Dual Frequency Multi-Constellation	KPI:	Key Performance Indicator
DTM:	Digital Track Map	IR:	Integrity Risk
ECSS:	European Cooperation for Space Standardisation	ISM:	Integrity Support Message
EDAS:	EGNOS Data Access Service	LDS	Location Determination System
EGNOS:	European Geostationary Navigation Overlay Service	LRBG:	Last Relevant Balise Group
EI:	Extended Integrity	LS:	Least Square
EO:	ERTMS/ETCS Odometry	MF/MC:	Multi Frequency/Multi Constellation
		MHSS:	Multiple Hypothesis Solution Separation
		MMI:	Man Machine Interface

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 4 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

MMSE:	Minimum mean square error	REQ:	Requisito
NLOS:	Non Line of Sight	RT:	Riunioni Tecnica
OB:	Obiettivo	SIL:	Safety Integrity Level
OBU:	On-Board Unit	SIS:	Signal In Space
OEM:	Original Equipment Manufacturer	SOM:	Start Of Mission
PCI:	Position Confidence Interval	SSE:	Sum of Square of the Error
Pfa:	Probability of False Alarm	SS-RAIM:	Solution Separation RAIM
PHMI:	Probability of Hazardous Misleading Information	THR:	Tolerable Hazard Rate
PL:	Protection Level	TIMD:	Train Integrity Monitoring Device
PT:	Product Tree	TTA:	Time To Alert
PVT:	Position Velocity and Time	TU:	Train Unit
RCA:	Reference CCS Architecture	VB:	Virtual Balise
RAIM:	Receiver Autonomous Integrity Monitoring (ABAS)	VBD:	Virtual Balise Detector
RAMS:	Reliability Availability Maintenance and Safety	VBR:	Virtual Balise Reader
RAV:	Riunione Avanzamento	VBLREB:	Virtual Balise Local Reference Error Bound
RB-RAIM:	Residual Based RAIM	VBTS:	Virtual Balise Transportation System
RCA:	Reference CCS Architecture	VCRM:	Verification Cross Reference Matrix
RdO:	Richiesta di Offerta	WPD:	Work Package Description
RF:	Riunione Finale	WBS:	Work Breakdown Structure
RI:	Riunione Iniziale		

3.0 DOCUMENTAZIONE APPLICABILE E DI RIFERIMENTO

3.1 DOCUMENTAZIONE APPLICABILE

I seguenti documenti costituiscono parte integrante del Capitolato Tecnico secondo la priorità definita nel seguente paragrafo § 3.3 “Ordine di Precedenza”; essi debbono essere applicati dal contraente nello sviluppo dell’offerta.

- [DA 01] *Capitolato generale di ASI (CGA [disponibile sul sito dell’ASI])*
- [DA 02] *Linee Guida per il “Tailoring” delle norme ECSS, OP-QTA-2012-003*
- [DA 03] *Norme per la redazione del piano di assicurazione del prodotto (Product Assurance Plan), OP-QTA-2012-005*
- [DA 04] *Istruzione Operativa “Requisiti per la preparazione della Work Breakdown Structure (WBS)” - Doc. OP-IPC-2005-002*
- [DA 05] *Nota Tecnica - Linee guida per la realizzazione di un localizzatore veicolare, DC-UTN-2023-055 (nel seguito Nota Tecnica)*

Nella Proposta Tecnica il contraente dovrà presentare un’analisi esaustiva e critica degli argomenti trattati nella Nota Tecnica dell’ASI “Linee guida per la realizzazione di un localizzatore veicolare” evidenziando quali sono le scelte di progetto di massima che saranno seguite nella realizzazione del localizzatore veicolare.

Questa trattazione assieme all’analisi critica dei requisiti del presente Capitolato Tecnico e alla matrice di conformità a tali requisiti, costituiscono la base della valutazione tecnica della proposta e del suo carattere di innovatività.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 5 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Standard ferroviari

I documenti applicabili relativi alla norma ERTMS/ETCS dovranno essere utilizzati nella loro versione più aggiornata. La issue riportata in elenco è pertanto di riferimento alla data di emanazione del presente documento, si veda il sito <https://www.era.europa.eu/> per la versione aggiornata.

- [DA 06] UNISIG, “ERTMS/ETCS Glossary of Terms and Abbreviations”, Ref: SUBSET-023 Issue: 3.3.0; 13/05/2016
- [DA 07] UNISIG, “ERTMS/ETCS System Requirements Specification” –Subset 026, ISSUE: 3.6.0 DATE: 13/05/2016
- [DA 08] UNISIG, “ERTMS/ETCS FFFIS for Eurobalise”, Ref: SUBSET-036, Issue: 3.1.0; 17/12/2015
- [DA 09] UNISIG, “ERTMS/ETCS Dimensioning and Engineering Rules”, Ref: SUBSET-040, Issue:3.4.0; 16/12/2015
- [DA 10] UNISIG, “ERTMS/ETCS Performance Requirements for Interoperability”, Ref: SUBSET-041, Issue: 3.2.0; 17/12/2015
- [DA 11] UNISIG, “ERTMS/ETCS Safety Requirement for the Technical Interoperability of ETCS in Levels 1 & 2”, Ref: SUBSET-091, Issue: 3.6.0; 12/05/2016
- [DA 12] ERTMS USER GROUP, ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification Chapter 2 – RAM, EEIG: 96S126, 30/09/98
- [DA 13] UNISIG, “ERTMS/ETCS - ETCS Application Levels 1 & 2 – Safety Analysis: Part 3 - THR Apportionment - SUBSET-088-3 Issue 3.6.0,” 2016.
- [DA 14] UNISIG, “ERTMS/ETCS - ETCS Application Level 2 - Safety Analysis: Part 1 - Functional Fault Tree - SUBSET-088-2 Part 1 Issue 3.6.0,” 2016
- [DA 15] The European Commission, “Commission Regulation (EU) 2016/919 of 27 May 2016 on the technical specification for interoperability relating to the ‘control-command and signalling’ subsystems of the rail system in the European Union”, Off. J. Eur. Union, vol.59, no. L 158; 2016.
- [DA 16] REGOLAMENTO (UE) 2021/2085 DEL CONSIGLIO del 19 novembre 2021 (ERJU)
- [DA 17] ERTMS USER GROUP, ERTMS/ETCS Environmental Requirements, 30/09/98
- [DA 18] Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety
- [DA 19] Common Safety Method (CSM), risk evaluation and assessment. The European Railway Agency, Published in the Official Journal of the European Union on 29th of April 2009, https://www.era.europa.eu/domains/safety-management/common-safety-methods_en
- [DA 20] Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009
- [DA 21] European energy policy paper #261, Challenges for European rail getting solutions on track, Marzo 2021
- [DA 22] P9_TA (2021)0327 Railway safety and signalling: Assessing the state of play of the ERTMS deployment European Parliament resolution of 7 July 2021 on railway safety and signalling: assessing the state of play of the European Rail Traffic Management System (ERTMS) deployment (2019/2191(INI))

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 6 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Standard stradali

I documenti applicabili relativi agli standard dovranno essere utilizzati nella loro versione più aggiornata. La versione riportata in elenco è pertanto di riferimento alla data di emanazione del presente documento.

- [DA 23] *Road vehicles – Functional safety, ISO 26262-2018 (Functional Safety – Road Vehicles) [FuSa]*
- [DA 24] *Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS), CEN/EN16803-Series, 2019*
- [DA 25] *Space-Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS)-Field tests definition for basic performance, CEN/TR17465, 2020*
- [DA 26] *ISO/PAS 21448 (Safety of the Intended Functionality of road vehicles) [SOTIF]*
- [DA 27] *ISO/SAE 21434 Cybersecurity and Security Measures e UN Regulation No 155 [Cyber]*
- [DA 28] *EN 16803: Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS)*
- [DA 29] *CEN/ISO TS 21176: Cooperative ITS – Position, Velocity and Time service in the ITS station*
- [DA 30] *Failure mechanism-based stress test qualification for integrated circuits, AEC - Q100 - Rev-I May 30, 2017*
- [DA 31] *ETSI TS 103 300: Intelligent Transport Systems – Vulnerable Road Users*
- [DA 32] *ETSI TS 103 246: Satellite Earth Stations and Systems; GNSS based location systems: Functional requirements, Reference architecture, Performance requirements.*
- [DA 33] *European Parliament and the Council of the European Union, "on the interoperability of electronic road toll systems in the Community", Official Journal of the European Union, 29 April 2004*
- [DA 34] *REGOLAMENTO (UE) 2019/2144 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 27 novembre 2019*
- [DA 35] *Commission implementing Regulation (EU) 2022/1426 of 5 August 2022 [Uniform procedures and technical specifications for the type-approval of the automated driving system (ADS) of fully automated vehicles] in applicazione del Regolamento (UE) 2019/2144 del 27 novembre 2019*
- [DA 36] *UN Regulation 157 on automated lane keeping systems [ALKS].*
- [DA 37] *UN Addendum 38 – Regulation No.39 Revision 2 from 2018*
- [DA 38] *ISO 22737:2021(en) Intelligent transport systems — Low-speed automated driving (LSAD) systems for predefined routes — Performance requirements, system requirements and performance test procedures*
- [DA 39] *V2X Communications Message Set Dictionary, J2735®, July 2020*
- [DA 40] *On-Board System Requirements for V2V Safety Communications, J2945™/1, April 2020*



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 7 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DA 41] *SAE International, “Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on road motor vehicles”, The Society of Automotive Engineers International Std., Rev. J3016-201806, June*

Standard comuni

I documenti applicabili relativi agli standard dovranno essere utilizzati nella loro versione più aggiornata. La versione riportata in elenco è pertanto di riferimento alla data di emanazione del presente documento.

- [DA 42] *Satellite Earth Stations and Systems (SES); GNSS based location systems; ETSI TS 103 246-Series, 2017*

- [DA 43] *Recommendation ITU-R P.681-11 (08/2019) Propagation data required for the design systems in the land mobile-satellite service*

Standard marittimi

- [DA 44] *International Electrotechnical Commission (IEC), 61108-1: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Global navigation satellite systems (GNSS) - Part 1: Global positioning system (GPS) – Receiver equipment – Performance standards, methods of testing and required test results, 2003*

- [DA 45] *International Electrotechnical Commission (IEC), 61108-3: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Global navigation satellite systems (GNSS) - Part 3: Galileo receiver equipment – Performance requirements, methods of testing and required test results., 2010*

- [DA 46] *International Electrotechnical Commission (IEC), 60945: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – General requirements – Methods of testing and required test results., 2003*

- [DA 47] *International Maritime Organization (IMO), Resolution MSC.112(73): Adoption of the revised performance standards for shipborne Global Positioning System (GPS) Receiver Equipment, 2000 [MOPS IMO del GPS]*

- [DA 48] *International Maritime Organization (IMO), Resolution MSC.233(82): Adoption of the performance standards for shipborne Galileo receiver equipment, 2006 [MOPS IMO del Galileo]*

- [DA 49] *Maritime Autonomous Ship Systems (MASS) UK Industry Conduct Principles and Code of Practice, A Voluntary Code, Version 5, November 2021*

- [DA 50] *COLREG, International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972, as amended (IMO)*

- [DA 51] *International Maritime Organization (IMO), Recommendation A.915(22): Revised maritime policy and requirements for a future Global Navigation Satellite System (GNSS), 2001 (IMO RNP)*

- [DA 52] *International Maritime Organization (IMO), Resolution A.1046(27): Revised Report on the study of a World-Wide Radionavigation System., 2011. (IMO RNP)*

- [DA 53] *Resolution MSC.401(95) (Adopted on 8 June 2015,) Performance standards for multi-system shipborne radionavigation receivers*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DA 54] *Resolution MSC.432 (98) del 2017, Amendments to Performance Standards for Multi-System Shipborne Radionavigation Receivers (Resolution MSC.401(95))*
- [DA 55] *MSC.1/Circ.1575, 16 June 2017, Guidelines for shipborne position, navigation and timing (PNT) data processing (IMO RNP)*
- [DA 56] *VTMIS- EU operational guidelines for safe, secure and sustainable trials of maritime autonomous surface ships (MASS), Version 1 (October 2020)*
- [DA 57] *Direttiva 2002/59/EC VTMIS (Vessel Traffic Monitoring and Information)*
- [DA 58] *IMO, Interim Guidelines for MASS trials, MSC.1/Circ.1604, 14 June 2019*
- [DA 59] *Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS), MSC.1/Circ.1638 3 June 2021*

3.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

I documenti di riferimento di seguito elencati devono essere utilizzati dal Contraente al fine di trarre: linee guida, dati di confronto, informazioni suppletive per la migliore comprensione dei requisiti, esempi gestionali, etc.

In assenza di specifici requisiti, i documenti di riferimento devono costituire l'elemento di confronto tecnico, operativo e gestionale rispetto al quale il Contraente deve realizzare le attività contrattuali.

Generali

[DR 1] *ECSS-S-ST-00-01C, Glossary of terms (*)*

[DR 2] *ECSS-M-ST-80C, Risk Management (*)*

[DR 3] *ECSS-M-ST-10C rev.1, Project planning and implementation (*)*

[DR 4] *ECSS-Q-ST-10C Rev.1 – Product assurance management (*)*

[DR 5] *ECSS-M-ST-40C rev.1, Configuration and information management (*)*

[DR 6] *ECSS-E-AS-11C – Adoption Notice of ISO 16290, Space systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment (*)*

(*) disponibili presso il sito web dell'ECSS all'indirizzo: www.ecss.nl

Rail

[DR 7] *A survey of GNSS-based Research and Developments for the European railway signaling, Juliette Marais et al, 2018*

[DR 8] *A Survey of Train Positioning Solutions, Jon Otegui 2017*

[DR 9] *An Enhanced RAIM Method for Satellite-Based Positioning Using Track Constraint, Jiang Liu et al., 2019*

[DR 10] *Automation of Operational Train Control on Regional Branch Lines by a Basic Train Control, Burkhard Stadlmann, 2006*

[DR 11] *Safety Appraisal of GNSS-Based Localization Systems Used in Train Spacing Control Julie Beugin et al., 2018*

[DR 12] *Snapshot Residual and Kalman Filter based Fault Detection and Exclusion Schemes for Robust Railway Navigation, Anja Grosch, Omar Garcia Crespillo et al., 2017*

**Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”**

- [DR 13] *Crespillo, O. G., Grosch, A., Skaloud, J., Meurer, M., Innovation vs Residual KF Based GNSS/INS Autonomous Integrity Monitoring in Single Fault Scenario, 2018*
- [DR 14] *A localization algorithm for railway vehicles based on sensor fusion between tachometers and inertial measurement units, M. Malvezzi et al., 2013*
- [DR 15] *High-speed Train Navigation System based on Multi-sensor Data Fusion and Map Matching Algorithm, Kwanghoon Kim et al., 2015*
- [DR 16] *High-Speed Train Tunnel Navigation Method Based on Integrated MIMU/ODO/MC Navigation, Zhenqian Sun et al., 2021*
- [DR 17] *Slip and Slide Detection and Adaptive Information Sharing Algorithms for High-Speed Train Navigation System, Kwanghoon Kim et al., 2015*
- [DR 18] *A GNSS Based Slide and Slip Detection Method for Train Positioning, Cai Bai-gen et al., 2009*
- [DR 19] *Bayesian Train Localization with Particle Filter, Loosely Coupled GNSS, IMU, and a Track Map, Oliver Heirich, 2016*
- [DR 20] *INS/GNSS/Odometer Data Fusion in Railway Applications, C. Reimer et al., 2016*
- [DR 21] *Resilient Train Localization based on GNSS/INS/Trackmap Integration using a MAP-AICKF Method, Zhuo jian Cao, 2022*
- [DR 22] *A CKF based GNSS/INS Train Integrated Positioning Method, Liu Jiang et al., 2010*
- [DR 23] *Track-constrained GNSS/Odometer-based Train Localization using a Particle Filter Liu Jian et al., 2016*
- [DR 24] *Bayesian GNSS/IMU Tight Integration for Precise Railway Navigation on Track Map Omar Garcia Crespillo et al., 2014*
- [DR 25] *Measurement and Analysis of Train Motion and Railway Track Characteristics with Inertial Sensors Oliver Heirich et al., 2011*
- [DR 26] *On Board unit design for train positioning by GNSS, Alessandro Neri et al., 2013*
- [DR 27] *A multi-sensor positioning method-based train localization system for Low Density Line, Wei Jiang et al. 2018*
- [DR 28] *Satellite Based Train Positioning Using Three-dimensional Track Maps, H. Yamamoto et al., 2005*
- [DR 29] *Track-constrained GNSS/Odometer-based Train Localization using a Particle Filter, Liu Jiang et al., 2016*
- [DR 30] *GNSS and Odometry Fusion for High Integrity and High Availability Train Control Systems, Alessandro Neri, Salvatore Sabina, Umberto Mascia, 2015*
- [DR 31] *Cubature rule-based distributed optimal fusion with identification and prediction of kinematic model error for integrated UAV navigation, Bingbing Gao et al., 2021*
- [DR 32] *Robust measure of non-linearity-based cubature Kalman filter, Lei Zhang, Sheng Li et al., 2017*
- [DR 33] *An enhanced RAIM method for satellite-based positioning using track constraint, Liu, J., Cai, B., Lu, D., & Wang, J. (2019)*
- [DR 34] *Performance Evaluation of GNSS for Train Localization, Debiao Lu and Eckehard Schnieder, 2015*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 35] *Towards modeling and evaluation of ETCS real-time communication and operation, A. Zimmermann and G. Hommel, 2005*
- [DR 36] *Interpretation of the Galileo Safety-of-Life Service by Means of Railway RAMS Terminology, A. Filip et al., 2008*
- [DR 37] *The high integrity GNSS/ INS based train position locator, A. Filip et al., 2004*
- [DR 38] *Galileo for railway operations: question about the positioning performances analogy with the RAMS requirements allocated to safety applications Julie Beugin et al., 2010*
- [DR 39] *Differential GNSS and double difference approaches comparison for high integrity railway Location Determination System, P. Salvatori et al., 2018*
- [DR 40] *Digital Track Map Aided Track Occupancy Identification Method in Railway Stations, Tao Yang et al, 2020*
- [DR 41] *GNSS Train positioning integrity monitoring by the help of discrete PIM algorithms, Heckenbergerova Jana, 2009*
- [DR 42] *A Map Matching Approach for Train Positioning Part I: Development and Analysis, Samer S. Saab, 2000*
- [DR 43] *Track Detection in Railway Sidings Based on MEMS Gyroscope Sensors, Antoni Broquetas et al., 2012*
- [DR 44] *Track Constrained RTK like Positioning for Railway Applications, A. Neri et al, 2017*
- [DR 45] *Announcement Signals and Automatic Braking Using Virtual Balises in Railway Transport Systems, Enrique Santiso et al. 2022*
- [DR 46] *Rete Ferroviaria Italiana, “Specifica Funzionale - Appendice Volume 1 - SRS del Sistema ERTMS/ETCS Livello 2 su Linee Attrezzate con Funzionalità Satellitare”, Ref: RFI DT STER SR IS 22 002 1 0, Rev: A; 04/2020 (tutti i diritti riservati)*
(vedi <https://epodweb.rfi.it/Modules/Home/WFHome.aspx>)
- [DR 47] *A framework for certification of train location determination system based on gnss for ertms/etcs, A.Filip et al., 2018*
- [DR 48] *Legrand, C., Beugin, J., Marais, J., Conrard, B., El-Koursi, E. M., & Berbineau, M. (2016). From extended integrity monitoring to the safety evaluation of satellite-based localisation system. Reliability Engineering & System Safety.*
- [DR 49] *Approach for evaluating the safety of a satellite-based train localisation system through the extended integrity concept, C. Legrand et al., 2017*
- [DR 50] *C. Wullems, R. Sperandio, M. Basso, S. Sturaro and S. Sabina, “A Preliminary Apportionment of Safety Targets for Virtual Balise Detection using GNSS in Future Evolutions of ERTMS.” In Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2018)*
- [DR 51] *A GNSS/INS/Odometer Filter Bank Using Next Generation DFMC SBAS Augmentation for Rail and Road Users, ION GNSS 2020+, Ligorio et al.*
- [DR 52] *How the Parallel Use of GPS and Galileo Benefits Railway Applications, Jan-Joran Gehrt, Inside GNSS, March 2018*
- [DR 53] *Projected Performance of a Baseline High Integrity GNSS Railway Architecture under Nominal and Faulted Conditions, Sherman Lo et al., 2017 (Rhinos)*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 54] *Infrastructure free solution for train positioning using track database, Philippe Brocard et al., ION GNSS 2020+*
- [DR 55] *UCP-REPORT ON RAIL USER NEEDS AND REQUIREMENTS, GSA-MKD-RL-UREQ-250286, 01/07/2021*
- [DR 56] *ERTMS User Group, Hybrid ERTMS/ETCS Level 3, 03/02/2022*
- [DR 57] *Next Generation Train Control (NGTC): more effective railways through the convergence of main-line and urban train control systems, Peter Gurnik 2016*
- [DR 58] *Railsafe: Executive Summary, 2017*
- [DR 59] *STARS-EGNSS Target Performances to meet railway safety requirements, 2017*
- [DR 60] *ERSAT-EAV: Alessandro Neri et al., “High Integrity Multiconstellation Positioning in ERTMS on SATELLITE–Enabling Application Validation”, 2017*
- [DR 61] *A New GNSS-PPP/INS Data Fusion for Global Infrastructure-less Safe Train Positioning, Manuel Cunha et al., 2019*
- [DR 62] *GRAIL-2: Enhanced Odometry based on GNSS, E. Gonzalez et al., 2012*
- [DR 63] *Helmet. I documenti sono disponibili al sito: [HELMET PROJECT – HELMET \(helmet-project.eu\)](http://helmet-project.eu)*
- [DR 64] *Astrail. I documenti sono disponibili al sito: <http://astrail.eu/home.aspx>*
- [DR 65] *railML consortium. railML Standard. [Online]. Available: www.railml.org*
- [DR 66] *CLUG, D5.7 – Preliminary definition of the system performances and interfaces, v.1.1, 29/06/2022*
Gli altri documenti sono disponibili nel sito <https://clugproject.eu/en/deliverables>
- [DR 67] *OCORA (Open CCS On-board Reference Architecture) release R2 publications June 2022, si veda il sito:*

<https://GitHub - OCORA-Public/Publication: Public OCORA documents>

in particolare:

- *OCORA-Localisation On-Board (LOC-OB) High-level Requirements*

[DR 68] *Improving the Railway Through a European GNSS Based Safety Service, Jonathan Vuillaume et al., 2023*

[DR 69] *LOCALISATION WORKING GROUP (LWG) e RCA (REFERENCE CCS ARCHITECTURE) documents, si veda il sito:*

https://ertms.be/workgroups/localisation_working_group

in particolare:

- *Digital Map System Definition RCA.Doc.59 v1.0*
- *Railways Localisation System Localisation Performance Requirements from use cases*

Automotive

[DR 70] *Automated driving systems 2.0: A vision for safety, National Highway Traffic Safety Administration (NHSTA), September 2017*

[DR 71] *Preparing for the future of transportation: Automated vehicles 3.0, National Highway Traffic Safety Administration (NHSTA) October 2018*

[DR 72] *How Safe Is Safe Enough for Self-Driving Vehicles?, Peng Liu et al., 2018*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 73] P. Kafka, “The Automotive Standard ISO 26262, the Innovative Driver for Enhanced Safety Assessment & Technology for Motor Cars,” *Procedia Engineering*, vol. 45, pp. 2–10, January 2012,
- [DR 74] “What is the future of autonomous vehicles?”, *Inside GNSS*, March 29, 2022
- [DR 75] *Integrity Monitoring: From Airborne to Land*, Davide Imperato, Ahmed El-Mowafy and Chris Rizos, 2018
- [DR 76] M. Joerger, M. Spenkow, “Towards Navigation Safety for Autonomous Cars,” *Inside GNSS*, 2017
- [DR 77] D. Calle et al. GMV, *Assured Precise Point Positioning Techniques Driving the Future*, 2020
- [DR 78] *Multisensor Localization Architecture for High-Accuracy and High-Integrity Land-based Applications*, Omar Garcia Crespillo et al. 2022
- [DR 79] UCP-REPORT ON ROAD USER NEEDS AND REQUIREMENTS, GSA-MKD-RL-UREQ- 250283, 01/07/2021
- [DR 80] *An Exploration of Low-Cost Sensor and Vehicle Model Solutions for Ground Vehicle Navigation*, Daniel C. Salmon, David M. Bevly, 2014
- [DR 81] T. Reid, S. Houts, R. Cammarata, et al., “Localization requirements for autonomous vehicles,” *SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles*, vol. 2, no. 3, pp. 173–190, 2019.
- [DR 82] de Groot, L., Infante, E., Jokinen, A., Kruger, B., & Norman, L. (2018). *Precise positioning for automotive with mass market GNSS chipsets*.
- [DR 83] *GPS Integrity Monitoring for an Intelligent Transport System*, Tareq Binjammaz et al., 2013
- [DR 84] *Estimating Accuracy of GPS Doppler Speed Measurement using Speed Dilution of Precision (SDOP) parameter*, Tom Chalko, 2009
- [DR 85] *Multi-Epoch 3D-Mapping-Aided Positioning using Bayesian Filtering Techniques*, Qiming Zhon, Paul D. Groves, 2022
- [DR 86] *Analysis of GNSS Integrity Requirements for Road User Charging Applications*, Daniel Salós et al., 2014
- [DR 87] *Protection Level of the Trimble RTX Positioning Engine for Autonomous Applications*, Carlos Rodriguez-Solano et al., 2021
- [DR 88] *GPS/MEMS INS integrated system for navigation in urban areas* S. Godha e M. E. Cannon, 2006
- [DR 89] *Helmet*. I documenti sono disponibili al sito: [HELMET PROJECT – HELMET \(helmet-project.eu\)](https://helmet-project.eu)
- [DR 90] *Integrity Performance for Precise Positioning in Automotive*, Laura Norman, Eduardo Infante, Lance de Groot (Hexagon), 2019
- [DR 91] *GNSS functional safety for the autonomous vehicle*, Fabio Pisoni et al., 2019
- [DR 92] ESA-NAVISP-ELI-021, *IMPACARS (Integrity Monitoring and Prediction Concept for Autonomous Car Resilience and Safety)*, final presentation 22 luglio 2020
- [DR 93] Noureldin, Aboelmagd, *Autonomous Systems Navigation State of the Art and Future Vision, Profound Positioning e NavINS*, 2020

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 94] *Development of Precise GPS/INS/Wheel Speed Sensor/Yaw Rate Sensor Integrated Vehicular Positioning System, J. Gao et al., 2006*
- [DR 95] *Economic effects of automated vehicles, Lewis M. Clements e Kara M. Kockelman, 2017*
- [DR 96] *Autonomous Driving Architectures, Perception and Data Fusion: A Review, Gustavo Velasco-Hernandez et al., 2020*
- [DR 97] *European Road Safety Observatory Road Safety Thematic Report Advanced driver assistance systems Version 1.1, December 2021*
- [DR 98] *Multi-sensor Fusion in Automated Driving: A Survey Z. Wang et al., 2016*
- [DR 99] *Comparison of 4G/LTE and DSRC Latency in a Real-World Environment, Kun Zhou, June 17, 2020*
- [DR 100] *A Novel Approach for Improved Vehicular Positioning Using Cooperative Map Matching and Dynamic Base Station DGPS Concept, Mohsen Rohani et al., 2015*
- [DR 101] *High-Definition Map Representation Techniques for Automated Vehicles, Babak Ebrahimi Soorchaei et al., 2022*
- [DR 102] *Vehicle Control Algorithms for Cooperative Driving With Automated Vehicles and Intervehicle Communications, Shin Kato et al., 2002*
- [DR 103] *Conformal Metasurfaces: a Novel Solution for Vehicular Communications, Marouan Mizmizi et al., 2022*
- [DR 104] *An Exploration of Low-Cost Sensor and Vehicle Model Solutions for Ground Vehicle Navigation, Daniel C. Salmon e David M. Bevly, 2014*
- [DR 105] *Low-cost Precise Vehicular Positioning in Urban Environments, Todd E. Humphreys et al., 2018*
- [DR 106] *High Integrity Navigation for Intelligent Vehicles, Philippe Xu et al., 2023*

Guida autonoma stradale

- [DR 107] *GNSS for Vehicle Control, David M. Bevly Stewart Cobb, 2010*
- [DR 108] *Efficient local navigation approach for autonomous driving vehicles, Joaquín López at al., 2021*
- [DR 109] *A. Dosovitskiy, G. Ros, F. Codevilla, A. López, and V. Koltun, “CARLA: an open urban driving simulator,” 2017. [Online]. Available: <http://carla.org>.*
- [DR 110] *Integrated Obstacle Detection and Avoidance in Motion Planning and Predictive Control of Autonomous Vehicles, Rien Quirynen et al., 2020*
- [DR 111] *Development of a new integrated local trajectory planning and tracking control framework for autonomous ground vehicles, Xiaohui Li et al., 2015*
- [DR 112] *A Survey of Motion Planning and Control Techniques for Self-Driving Urban Vehicles, Brian Paden et al, 2016*
- [DR 113] *Motion Planning in Urban Environments, Dave Ferguson et al., 2008*
- [DR 114] *Reachability-based Decision Making for City Driving, Heejin Ahn et al., 2018*
- [DR 115] *Route planning in transportation networks, H. Bast, et al., 2015*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 116] *Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions, Christos Katrakazas et al., 2015*
- [DR 117] *Manoeuvre generation and control for automated highway driving, Julia Nilsson et al., 2014*
- [DR 118] *Automated Complex Urban Driving based on Enhanced Environment Representation with GPS/map, Radar, Lidar and Vision, Beomjun Kim et al., 2016*
- [DR 119] *Perception, Planning, Control, and Coordination for Autonomous Vehicles, Scott Drew Pendleton et al., 2017*
- [DR 120] *Perception, information processing and modeling: Critical stages for autonomous driving applications, Dominique Gruyer et al., 2017*
- [DR 121] *A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle, John Leonard et al., 2008*
- [DR 122] *Multi-View 3D Object Detection Network for Autonomous Driving Xiaozhi Chen et al., 2017*
- [DR 123] *A Multi-Modal System for Road Detection and Segmentation Xiao Hu et al., 2014*
- [DR 124] *Exploitation of road signalling for localization refinement of autonomous vehicles, Leandro D’Orazio et al., 2018*
- [DR 125] *Lidar-based lane marker detection and mapping, Soren Kammel and Benjamin Pitzer, 2018*
- [DR 126] *Integrating Global Navigation Satellite System and Road-Marking Detection for Vehicle Localization in Urban Traffic, Yanlei Gu et al., 2016*
- [DR 127] *Real-Time Global Localization of Robotic Cars in Lane Level via Lane Marking Detection and Shape Registration, Dixiao Cui et al., 2014*
- [DR 128] *Towards Fully Autonomous Driving: Systems and Algorithms, Jesse Levinson et al., 2011*
- [DR 129] *TUM Autonomous Motorsport: An Autonomous Racing Software for the Indy Autonomous Challenge, Johannes Betz et al., 2022*
- [DR 130] *Indy Autonomous Challenge, PoliMOVE team white paper, 2023*
- [DR 131] *PROUD–Public ROad Urban Driverless test: architecture and results, Alberto Broggi ET AL., 2014*
- [DR 132] *Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge, Michael Montemerlo et al., 2008*
- [DR 133] *Motion Planning in Urban Environments, Dave Ferguson et al., 2008 (BOSS)*
- [DR 134] *A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle, John Leonard et al., 2008 (TALOS)*
- [DR 135] *Deep Driving: Learning Affordance for Direct Perception in Autonomous Driving Chenyi Chen et al., 2015*
- [DR 136] *End to End Learning for Self-Driving Cars, M. Bojarsky et al., 2016*
- [DR 137] *Deep Learning-Based GNSS Network-Based Real-Time Kinematic Improvement for Autonomous Ground Vehicle Navigation, Hee-Un Kim and Tae-Suk Bae, 2019*
- [DR 138] *Accurate lateral positioning from map data and road marking detection DominiqueGruyer et al., 2015*
- [DR 139] *Perception, Planning, Control, and Coordination for Autonomous Vehicles, Scott Drew Pendleton et al., 2017*

**Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”**

[DR 140] *Alice: An Information-Rich Autonomous Vehicle for High-Speed Desert Navigation, Lars B. Cremean et al., 2006*

Maritime

[DR 141] *UCP-Report on maritime user needs and requirements, GSA-MKD-RL-UREQ-229399, 01/07/2021*

[DR 142] *Revision of RAIM implementation for maritime, F. Blázquez et al. 2020*

[DR 143] *Software Receiver Implementation of SBAS Guidelines for Maritime Including RAIM, J. Martínez et al., 2021*

[DR 144] *R-Mode Positioning System Demonstration, Dr. Gregory Johnson et al., 2020*

[DR 145] *The Feasibility of a VDE-SAT Ranging Service as an Augmentation to GNSS for Maritime Applications, Alexander J. Owens et al., 2021*

[DR 146] *GNSS Augmentation using the VHF Data Exchange System (VDES), J. Safar et al., 2018*

[DR 147] *Underwater Vehicle Positioning by Correntropy-Based Fuzzy Multi-Sensor Fusion, Nabil Shaukat et al., 2021*

[DR 148] *Accuracy Analysis of DVL/IMU/Magnetometer Integrated Navigation System using Different IMUs in AUV, Yanrui Geng et al., 2020*

[DR 149] *Review of multisensor data fusion techniques and their application to autonomous underwater vehicle navigation, D Loebis, R Sutton and J Chudley, 2015*

[DR 150] *UAV Assisted USV Visual Navigation for Marine Mass Casualty Incident Response Xuesu Xiao et al., 2017*

[DR 151] *Multi-vehicle Guidance, Navigation and Control towards Autonomous Ship Maneuvering in Constrained Waters, Martin Kurowski et al., 2019*

[DR 152] *Simulation of combined engine and rudder maneuvers using an improved model of hull-propeller-rudder interactions, P. Oltmann and S. Sharma, 1984*

[DR 153] *Navigation and Control Methods for Classes of Unmanned Surface Vehicles, M. Kurowski, R. Damerius, and T. Jeinsch, 2018*

[DR 154] *The esa nlp solver worhp, C. Buskens and D. Wassel, 2014*

[DR 155] *Guidance, Navigation and Control of Unmanned Surface Vehicles, Martin Kurowski, Adel Haghani, Philipp Koschorrek, and Torsten Jeinsch, 2015*

[DR 156] *Survey of Deep Learning for Autonomous Surface Vehicles in Marine Environments, Yuanyuan Qi et al., 2023*

[DR 157] *Accuracy Analysis of DVL/IMU/Magnetometer Integrated Navigation System using Different IMUs in AUV, Yanrui Geng et al., 2010*

[DR 158] *Navigation with IMU/GPS/Digital Compass with Unscented Kalman Filter, Pifu Zhang et al., 2005*

[DR 159] *Ship navigation via GPS/IMU/LOG integration using adaptive fission particle filter, Chuang Zhang et al., 2018*

[DR 160] *A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles, Zheng Zeng et al., 2015*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 161] *COLREGs-based collision avoidance strategies for unmanned surface vehicles, Wasif Naeem et al., 2011(a)*
- [DR 162] *An integrated multi-sensor data fusion algorithm and autopilot implementation in an uninhabited surface craft, Wasif Naeem, Robert Sutton, Tao Xu, 2011(b)*
- [DR 163] *Robotic Ocean Vehicles for Marine Science Applications: the European ASIMOV Project, Antonio Pascoal et al., 2000*
- [DR 164] *Autonomous Navigation of a Small Boat Using IMU/GPS/Digital Compass Integration, Douglas Soares dos Santos et al., 2019*
- [DR 165] *DVL-aided navigation filter for maritime applications, J.J. Gehrt, R. Zweigel et al., 2018*
- [DR 166] *The Seven Ways to Find Heading, Kenneth Gade, 2016*
- [DR 167] *Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles I: a review, Anete Vagale et al., 2020*
- [DR 168] *Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles II: a comparative study of algorithms, Anete Vagale et al., 2020*
- [DR 169] *Galileo adoption in shipborne equipment, Gioia C., Cucchi L. et al., 2020*
- [DR 170] *Implementation of an autonomous surface vessel prototype: a case study, Xinhua Tang et al., 2019*
- [DR 171] *Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges, Zhixiang Liu et al., 2016*
- [DR 172] *Fast GNSS Ambiguity Resolution under Frequent and Persistent Outages of Differential Data for Vessel Navigation, Jan-Jöran Gehrt et al., 2021*
- [DR 173] *Basic navigation, guidance and control of an Unmanned Surface Vehicle, Massimo Caccia et al., 2008*
- [DR 174] *Roboat II: A Novel Autonomous Surface Vessel for Urban Environments, Wei Wang et al., 2020*
- [DR 175] *Path Planning Technologies for Autonomous Underwater Vehicles-A Review, Daoliang et al., 2018*
- [DR 176] *Survey on Communication and Networks for Autonomous Marine Systems, Artur Zolich et al., 2018*
- [DR 177] *Robust Adaptive Position Mooring Control for Marine Vessels, Mou Chen et al., 2012*
- [DR 178] *Low-Cost Vision-Based AUV Guidance System for Reef Navigation, Matthew Dunbabinn et al., 2004*
- [DR 179] *An Overview of Recent Advances in Coordinated Control of Multiple Autonomous Surface Vehicles, Zhouhua Peng et al., 2020*
- [DR 180] *The design of a navigation, guidance, and control system for an unmanned surface vehicle for environmental monitoring, W. Naeem et al., 2007*
- [DR 181] *A multi-sensor data fusion navigation system for an unmanned surface vehicle, T Xu, R Sutton and S Sharma, 2007*
- [DR 182] *A comparison between LQG and MPC autopilots for inclusion in navigation, guidance and control system, A SK Annamalai, A Motwani, 2013*

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- [DR 183] *Path-following algorithms and experiments for autonomous surface vehicle*, Marco Bibuli, Massimo Caccia, Lionel Lapierre, 2007
- [DR 184] *A Review of Guidance Laws Applicable to Unmanned Underwater Vehicles*, W. Naeem et al., 2003
- [DR 185] *Guidance and control methodologies for marine vehicles: A survey*, Hamid Reza Karimi, Yanyang Lu, 2021
- [DR 186] *A Practical Approach to Modeling and Identification of Small Autonomous Surface Craft*, Massimo Caccia et al., 2008
- [DR 187] *Path Planning and Navigation of Oceanic Autonomous Sailboats and Vessels: A Survey*, Jing Wei et al., 2019
- [DR 188] *Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions*, H. Yasukawa, Y. Yoshimura, 2015
- [DR 189] *Path following of underactuated marine surface vessels using line-of-sight based model predictive control*, So-Ryeok Oh, JingSun, 2010
- [DR 190] *Trajectory-Tracking and Path-Following of Underactuated Autonomous Vehicles with Parametric Modeling Uncertainty*, A. Pedro Aguiar et al., 2007
- [DR 191] *A USV-UAV Cooperative Trajectory Planning Algorithm with Hull Dynamic Constraints*, Tao Huang et al., 2023
- [DR 192] *On Collaborative Aerial and Surface Robots for Environmental Monitoring of Water Bodies*, Eduardo Pinto et al., 2013
- [DR 193] *Rescue Boat Path Planning in Flooded Urban Environments*, Mehmet Fatih Ozkan et al., 2019
- [DR 194] *Straight-Line Target Tracking for Unmanned Surface Vehicles*, Morten Breivik et al., 2008
- [DR 195] *360-Degree Visual Detection and Target Tracking on an Autonomous Surface Vehicle*, Michael T. Wolf et al., 2010
- [DR 196] *A Compact Control Language for AUV acoustic communication*, R. Stokey, L. Freitag, and M. Grund, 2005
- [DR 197] *Tracking and remote monitoring of an autonomous underwater vehicle using an unmanned surface vehicle in the Trondheim fjord*, Petter Norgren et al., 2015
- [DR 198] *Marine Radar Target Detection for USV*, Xing Ji et al., 2014
- [DR 199] *A Benchmark for Deep Learning Based Object Detection in Maritime Environments*, Sebastian Moosbauer et al., 2019
- [DR 200] *Automatic Obstacle Detection for USV's Navigation Using Vision Sensors*, Oren Gal, 2011
- [DR 201] *Vision-based Docking Using an Autonomous Surface Vehicle*, Matthew Dunbabin et al., 2008
- [DR 202] *Autonomous Surface Vehicle Docking Manoeuvre with Visual Information*, Alfredo Martins et al., 2007
- [DR 203] *Autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned surface vehicle*, Jacoby Larson et al., 2006
- [DR 204] *Obstacle Avoidance Approaches for Autonomous Navigation of Unmanned Surface Vehicles*, Riccardo Polvara et al., 2016



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 18 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[DR 205] *Robust Small Object Detection on the Water Surface, through Fusion of Camera and MillimeterWave Radar, Yuwei Cheng et al., 2021*

[DR 206] *Cooperative use of unmanned sea surface and micro aerial vehicles at hurricane Wilma, R.R. Murphy et al., 2008*

3.3 ORDINE DI PRECEDENZA

L'ordine di precedenza tra i documenti applicabili all'offerta sarà il seguente:

- o Bando
- o il presente Capitolato Tecnico
- o i Documenti Applicabili identificati nella sezione 3.1
- o tutti i documenti generati dall'ASI ed accettati dal Contraente.

In caso di conflitto tra i requisiti ha prevalenza il più stringente.

Il Contraente è tenuto ad evidenziare ogni eventuale conflitto tra i requisiti e sottoporlo ad ASI per la sua risoluzione.

4.0 OBIETTIVI ED ATTIVITA'

4.1 CONTESTO DI RIFERIMENTO

L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), attraverso l'Unità di Telecomunicazioni e Navigazione, intende realizzare il programma di Navigazione Satellitare con l'intento di migliorare le prestazioni dei sistemi di Navigazione e relativi servizi, incrementarne la capacità tecnologica, l'innovazione e la competitività nel settore, svilupparne la cultura spaziale e la cooperazione internazionale.

Tale programma, in particolare, ha l'intento di stimolare la comunità accademica ed industriale del settore, di promuovere e acquisire studi di fattibilità e realizzare prototipi di infrastrutture e sistemi di distribuzione, ricezione e processamento del servizio di posizionamento satellitare (GNSS) fortemente innovativi da cui potranno scaturire applicazioni sempre più robuste e precise per l'utente.

Il programma di Navigazione Satellitare si articola in una serie di progetti nel campo della Ricerca e Sviluppo relativi alle infrastrutture di navigazione, al trasporto (rail, maritime, automotive e aviation), geomatica, veicoli spaziali, sincronizzazione e ai nuovi algoritmi di processamento del dato PVT.

Con riferimento al progetto di trasporto, l'ASI si propone di dare avvio al progetto “**Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico**” con l'intento di aprire agli operatori pubblici e privati la possibilità di proporre sistemi pre-operativi relativi a nuove architetture/algoritmi/concetti/tecnologie innovativi nel campo del servizio GNSS applicati al trasporto veicolare terrestre, ferroviario e marittimo.

4.2 DESCRIZIONE DELLA FORNITURA

Il bando prevede tre aree tematiche a cui seguiranno contratti dedicati.

a) **Sistema di navigazione satellitare per il controllo marcia treni.** I sistemi di trasporto ferroviario si stanno evolvendo avendo come obiettivo l'agenda digitale ferroviaria, che include ERTMS (European Railway Management System/European Traction Control System), ATO (Automatic Train



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 19 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Operation), comunicazioni su 5G, scambi digitali (IOT, Internet of Things), cybersicurezza, Digital Automatic Coupling e l'uso del GNSS [vedi European energy policy paper #261].

Con riferimento al sistema ERTMS/ETCS, esso garantisce l'impiego di un sistema interoperabile, sicuro ed efficiente, basato sul controllo via radio e non più su segnali visivi e richiede l'installazione e l'utilizzo di appositi trasponder (boe di tipo eurobalise) per la funzione di localizzazione del treno.

Inoltre, esso è in grado di aumentare l'efficienza del trasporto tramite il livello 3 “ibrido” ed i blocchi virtuali, laddove l'aumento della capacità di trasporto nei nodi urbani è divenuta una priorità assoluta soprattutto per l'Italia.

Nonostante il sistema basato sull'utilizzo di tali boe funzioni egregiamente in termini di sicurezza e efficienza, esso comporta, però, anche una serie di svantaggi quali i costi di installazione, manutenzione e il dispendio di energia.

Questa situazione è ancora più sentita al crescere del livello di automazione che richiederà un numero crescente di balise fisiche sulla linea.

Infatti, l'implementazione del livello 3 “ibrido” richiederà all'incirca 16 balise/Km e, pertanto, la possibilità di usare il servizio GNSS consentirà di limitare i lavori in campo (onerosi e con inevitabili interruzioni del traffico con ripercussioni sulla circolazione), aumentare l'affidabilità (minori interventi manutentivi) e minori investimenti per apparati.

In questo quadro, GNSS è una delle tecnologie rivoluzionarie che potrà servire da acceleratore per la penetrazione dell'ERTMS soprattutto nelle linee regionali, sulle quali, in Italia, si trasportano circa la metà del numero totale dei passeggeri.

Sono in corso di studio varie possibilità di introduzione di GNSS in ERTMS quali l'Odometria Avanzata per ridurre gli errori dell'odometro ERTMS tramite un sistema di posizionamento multisensore indipendente dal computer di bordo (EVC, ERTMS Vital Computer) e sfruttando il futuro sistema EGNOS Next, e il sistema con la Virtual Balise (VB) con doppio livello di rete di augmentation (EGNOS e locale).

ASI ha sostenuto le tecnologie di navigazione satellitare per il ferroviario fin dal 2012.

Nell'ultimo decennio queste tecnologie sono state sviluppate con progetti europei o nazionali supportati da ASI. Si citano i seguenti progetti:

- 3InSat (2012-2016): studio di fattibilità della tecnologia satellitare nel settore ferroviario [ASI-ESA]
- ERSAT (2015-2019): prima localizzazione satellitare con rete di augmentation locale (Cagliari San Gavino) [GSA]
- DB4RAIL (2017-2021): rilevamento e mitigazione delle interferenze del GNSS [ASI-ESA]
- SAT4TRAIN (2017-2021): reti di telecomunicazioni pubbliche e satellitari [ASI-ESA]
- Linea pilota Novara-Rho (2021-in corso): validazione/certificazione ERTMS e GNSS [RFI]
- Voliera (2020-2022): posizionamento integrato con IMU e LiDAR [ASI-ESA]

Si ricorda che la soluzione VB è uno dei risultati principali della ricerca italiana in questo periodo, come dimostrato dai trial site Cagliari-San Gavino e dalla linea pilota Novara-Rho.

Sulla base di questa esperienza, ASI ritiene che, a breve e medio termine, le soluzioni innovative di tipo GNSS debbano concentrarsi sul miglioramento delle prestazioni e consolidamento di ERTMS piuttosto che sullo sviluppo di nuovi concetti non retrocompatibili e che difficilmente potrebbero essere approvate da ERA (European Railways Agency) in tempi utili, perché non rientrano nell'attuale architettura ERTMS/ETCS.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 20 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

La strategia dell’ASI, condivisa a livello nazionale, è, dunque, di valorizzare le nuove tecnologie satellitari basandosi su una soluzione “plug-and-play” tramite la virtualizzazione delle balise fisiche (ovvero Virtual Balise, VB). Ciò consentirebbe di offrire al mercato una soluzione tecnologicamente avanzata nel campo del controllo marcia treno ma a costi contenuti e in tempi rapidi.

Questa soluzione consentirebbe infatti di integrare l’attrezzatura ferroviaria corrente a bordo treno e a terra, con minimo impatto sulla strumentazione e materiale attuale e con ridotti oneri di certificazione.

La soluzione con Virtual Balise è stata anche raccomandata a livello del Parlamento Europeo come fattore di ammodernamento necessario del sistema ferroviario [punto 34 della direttiva (2021)0327].

Nel campo della tecnologia di navigazione applicata alle ferrovie l’Italia vanta un’esperienza decennale ed è all’avanguardia nel campo della ricerca grazie a RFI, all’industria e ai centri di ricerca italiani.

Obiettivo di ASI è di consolidare questo vantaggio rafforzando la competitività della filiera nazionale e promuovendo le iniziative di R&S nelle tecnologie abilitanti in sinergia con il piano di introduzione in Italia del sistema ERTMS/ETCS e in coordinamento con Europe’s Rail JU della Commissione Europea (DG MOVE e DEFIS) e gli altri programmi di ESA e EUSPA.

A livello nazionale, in particolare, l’azione futura dell’ASI a sostegno del settore promuove lo sviluppo di due tecnologie abilitanti fondamentali:

- la realizzazione di una rete di correzione locale per i trasporti, che possa anche integrare i servizi futuri di HAS (High Accuracy Service)
- la realizzazione di un nuovo ricevitore modulare ferroviario

Per quanto riguarda la prima linea di sviluppo, ASI ha già avviato un programma per realizzare una rete di *augmentation nazionale* che possa integrarsi con EGNOS in un sistema di correzione a due livelli dedicata ai trasporti.

Un Bando dedicato è attualmente in corso di aggiudicazione.

Per quanto riguarda la seconda linea di intervento, ASI, tramite il progetto oggetto del Bando descritto in questo documento, vuole proporre un sistema innovativo di localizzazione a bordo treno, interoperabile a livello Europeo, denominato *Localizzatore di Bordo Modulare Ferroviario (LOCF)*.

La caratteristica innovativa dell’iniziativa è costituita dall’architettura flessibile e modulare proposta che consentirà di soddisfare le varie esigenze tipo multi-missione e multiutente.

Esso, infatti, incorporerà le sezioni “Virtual Balise Reader” e “Enhanced Odometry” e una sezione completa di “Full Positioning”, attivabili a richiesta a seconda dello stato della missione e della richiesta dell’utente.

Il sistema sarà così una soluzione di localizzazione avanzata ferroviaria di tipo federato che possa rispondere nello stesso dispositivo sia alle esigenze del sistema della balise virtuale (VB), per una rapida introduzione “plug-and-play”, sia alle esigenze di Odometria Avanzata che a quelle di un localizzatore completo post-ERTMS capace, quindi, già di trarre le future applicazioni ferroviarie ad alta precisione, quali ATO e Train Coupling.

Questa ultima soluzione completa potrà essere già usata oggi in fase SOM (Start-of-Mission) invece della guida a vista quando ancora non è stata agganciata la prima balise, risolvendo così anche una delle limitazioni del sistema attuale ERTMS ed aumentando di conseguenza la sicurezza ed efficienza di questa fase della missione.



Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Il localizzatore in questione sarà prototipato fino a TRL 6 e progettato in modo da essere pronto per la successiva certificazione secondo lo standard CENELEC a livello SIL-4 con opportuno apportionamento dei requisiti di integrità e definizione dei discendenti requisiti di accuratezza.

In assenza di standard comuni universalmente accettati, i requisiti di prestazione definiti dal progetto per il prodotto (accuratezza, integrità, disponibilità e continuità) saranno proposti per condivisione alla comunità tecnica e scientifica del settore e contribuiranno all'adozione della tecnologia satellitare presso ERA tramite modifica delle specifiche tecniche di interoperabilità.

In conclusione, il prodotto risultato di questa iniziativa sarà all'avanguardia nelle applicazioni del GNSS al settore ferroviario e consentirà di fornire una soluzione completa e interoperabile, potrà rispondere alle varie esigenze correnti della comunità ferroviaria e traguarderà già le funzionalità avanzate post-ERTMS.

Tale soluzione, usata congiuntamente con la rete di augmentation locale, costituirà la base tecnologica per la rapida implementazione delle tecnologie satellitari nella nostra rete ferroviaria nazionale fornendo un servizio più efficiente e sicuro per l'utenza.

Inoltre, verrà rafforzata la competitività della filiera nazionale già leader nel campo dell'uso del GNSS per applicazioni ferroviarie.

b) Sistema di navigazione per la guida autonoma stradale. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), il numero di persone morte a causa di incidenti stradali è di circa 1,3 milioni di persone all'anno, ovvero 17 morti ogni 100,000 persone ogni anno. Gli incidenti stradali sono la principale causa di morte per i bambini e giovani adulti di età compresa tra 5-29 anni.

Sulle strade della sola Unione Europea, 25,000 persone muoiono e 135,000 sono gravemente ferite ogni anno a causa di incidenti stradali. Appare evidente che occorre introdurre sistemi di guida più sicuri per ridurre il rischio del trasporto veicolare legato al fattore umano come invecchiamento, malattie, stress, stanchezza, inesperienza o abuso di droghe.

Secondo un rapporto di KPMG, oltre il 90% degli incidenti ogni anno sono causati da errori del conducente, e la frequenza degli incidenti potrebbe scendere fino all'80% con i veicoli di livello 4 completamente automatizzati (Albright et al. 2015).

Inoltre, sorge la necessità di una maggiore efficienza del trasporto tale da ridurre i consumi di carburante e ridurre l'impronta ambientale, soprattutto per il trasporto delle merci e il traffico pendolare.

Per rispondere ancora meglio a queste esigenze, la ricerca e l'industria del settore si sono dedicate negli ultimi anni allo sviluppo di veicoli automatizzati, connessi o autonomi per ottenere una guida più efficiente e più sicura. Sistemi altamente automatizzati fino alla guida autonoma e connessa (CAV, Connected and fully Automated or Autonomous Vehicles) sono i prossimi obiettivi della ricerca.

I ricercatori stimano che entro il 2025 ci saranno otto milioni di vettore automatiche o autonome [Inside GNSS, 2022].

Da un punto di vista strettamente economico e senza considerare gli effetti sociali, l'impatto delle CAV potrebbe essere enorme. Infatti, è stato stimato che l'impatto della riduzione degli incidenti stradali e dell'aumento della produttività grazie ad un trasporto più efficiente possono avere un impatto sulla sola economia americana nell'ordine di 1217 miliardi di dollari [Lewis M. Clements, 2017].



Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Ci sono, tuttavia, ancora vari problemi da superare per avere un’espansione dei CAV su larga scala quali la mancanza di regolamentazione approvata, l’accettabilità sociale, lo stato delle Infrastrutture esistenti e la fattibilità tecnica.

Con riferimento a quest’ultimo punto, si prenda come esempio l’episodio di Elaine Herzberg del 18 marzo 2018. La signora stava andando sulla sua bicicletta attraverso una strada in Arizona quando Uber stava testando una delle proprie auto autonome sulla stessa strada. Sfortunatamente, l’auto ha colpito e ucciso Elaine Herzberg, rendendola la prima vittima di un incidente automobilistico con auto autonoma negli Stati Uniti. La National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ha registrato, da allora, almeno 392 incidenti stradali che hanno coinvolto veicoli autonomi nel 2022. Questo dimostra che i sistemi di guida autonoma devono essere ancora perfezionati per ridurre l’incidenza di errori di programmazione a bordo e altri malfunzionamenti, inclusi gli effetti di possibili hackeraggi.

Da un punto di vista dell’hardware, l’insieme dei sensori per la percezione e localizzazione generano, inoltre, enormi quantità di dati (si stima da 383 GB/h fino a 5,17 TB /h) che devono essere gestiti e che necessitano di processori potenti (p.e.s ARM mobile system Soc).

Prima che un’automobile autonoma possa essere immessa sul mercato, il costruttore dovrà, dunque, risolvere tutti i problemi di affidabilità e sicurezza sia dell’hardware che del software per certificare che il veicolo è funzionale e sicuro almeno come le auto già in circolazione.

Con riferimento al punto della fattibilità tecnica, un requisito fondamentale per avviare la diffusione delle piattaforme veicolari completamente autonome o altamente automatizzate è la realizzazione del sistema di guida, navigazione e controllo (GNC) affidabile.

Componente essenziale del sistema di navigazione è il sistema di percezione e localizzazione.

Molteplici sono state le iniziative di ricerca nel campo della guida autonoma negli ultimi due decenni.

In Italia, il 28 febbraio del 2018 il Ministero dei Trasporti ha emanato il D.M. n. 70 meglio noto come “Decreto Smart Road” sull’ammodernamento digitale della rete stradale nazionale, introducendo nuove regole per la sperimentazione di veicoli a guida autonoma su strade pubbliche. Con questo decreto si è dato il via alla sperimentazione su strada di veicoli a guida autonoma.

Si cita l’attività dell’Università di Parma con il prof. Broggi che ha costituito uno dei primi esempi in Italia di tale ricerca.

Dopo le prove su circuiti, il 27 maggio 2019 Vislab, spinoff dell’Università di Parma ha realizzato le sperimentazioni dell’auto a guida autonoma a Parma con il modello Ambarella modello L.

Nell’Ottobre 2020 Vislab ha effettuato il test con ANAS su SS 199 Sassari-Olbia.

Come si è potuto verificare nel workshop “Il GNSS e le auto autonome e connesse” tenuto da ASI il 28 aprile 2023, esistono attualmente importanti centri di ricerca in Italia focalizzati sulla guida autonoma, quali Il Politecnico di Milano, il Politecnico di Torino, l’Università di Modena/Reggio Emilia e dell’Aquila.

L’ ASI ha, dal canto suo, stipulato un accordo (in corso di esecuzione) con l’università dell’Aquila per la realizzazione di studi orientati all’integrazione di sensori propriocettivi con il GNSS per la localizzazione di un veicolo stradale.

Tutto ciò premesso, ASI intende, quindi, consolidare le attività di ricerca italiana nel settore promuovendo attraverso questo bando la realizzazione del componente tecnologico trasversale essenziale della localizzazione che possa essere integrato nella guida autonoma.



Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Il sistema di bordo di navigazione centrato sul GNSS dovrà essere accurato, preciso e affidabile.

GNSS svolgerà un ruolo centrale nella localizzazione dei veicoli autonomi e servirà come fonte di localizzazione assoluta assieme alle mappe ad alta definizione.

Per un'applicazione per veicoli autonomi ci si aspetta la disponibilità al 99,9% in tutte le condizioni e località: urbane, rurali, All Weather e All Visibility.

L'accuratezza dovrà passare dall'accuratezza a livello di strada (o di corsia) a quella interna alla corsia. Dalle stime iniziali la precisione richiesta sarà di un decimetro, con frequenza di rinfresco del dato di almeno 200 Hz.

Il rischio di integrità della posizione è di 1×10^{-8} /hour con classe quindi ASIL-D secondo ISO 26262.

In conclusione, le attività oggetto di questo bando consisteranno nella realizzazione di un localizzatore di bordo veicolare che assicuri l'alta accuratezza e integrità, con l'ausilio anche di AI (Artificial Intelligence), per garantire un livello di automazione a partire dal livello 3 della norma SAE, al fine della realizzazione del sistema di posizionamento avanzato per i veicoli di tipo CAV.

L'iniziativa di questo bando si inserisce in una più ampia strategia nazionale per lo sviluppo delle auto autonome e connesse in Italia.

Il progetto in oggetto genererà un prodotto che potrà essere, infatti, validato nel costruendo laboratorio P-CAR (Laboratorio per la certificazione e validazione di localizzatori satellitari per auto autonome e connesse, in corso di realizzazione nel programma dell'ESA NAVISP-elemento 3 con l'approvazione dell'ASI) presso il polo automotive abruzzese e potrà essere coordinato con il progetto Emerge dell'Università dell'Aquila finanziato da MIMIT avente come oggetto gli aspetti dell'auto connessa.

Queste tre iniziative consentiranno, quindi, di raggiungere, in modo sinergico e nazionale, l'autonomia massima di livello cinque per un veicolo stradale.

La realizzazione di tale tecnologia servirà, dunque, come acceleratore per l'introduzione di sistemi automatici e autonomi per l'utenza, con l'obiettivo di migliorare la sicurezza e l'efficienza del trasporto veicolare avendo presente il motto di GM: “*zero crashes, zero emissions and zero congestion*”

c) Sistema di navigazione per la guida autonoma marittima.

Il GNSS è diventato obbligatorio per tutte le imbarcazioni commerciali (secondo International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) del 1977 e ss.mm.ii.), ma è, ormai, anche utilizzato da una grande parte delle applicazioni di navigazione marittima di carattere generale. Uno dei primi esempi di largo impiego del GPS risale all'uso del DGPS a media frequenza secondo le prescrizioni di IALA.

Nel complesso, la penetrazione del GNSS nelle navi marittime dovrebbe raddoppiare nel prossimo decennio, dal 20% al 40%, poiché le navi da diporto faranno sempre più ricorso al GNSS, oltre alle navi mercantili (che sono già dotate di ricevitori GNSS) per coprire le applicazioni di navigazione e posizionamento (AIS, Automatic Identification System).

Il trasporto marittimo si trova attualmente ad affrontare nuove sfide, quali l'aumento significativo dei volumi di trasporto, requisiti ambientali più rigorosi e la carenza di personale marittimo nel futuro.

Per rispondere a queste nuove sfide, IMO (International Maritime Organization) sta sviluppando una strategia di innovazione tecnologica che include elementi quali E-navigation, Multi-system Shipborne Receiver (MSR) e l'automazione marittima.



Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

In particolare, l’automazione e le altre nuove tecnologie quali 5G, comunicazioni satellitari, cloud, UAV, block chain, IOT, digital twin/GIS e osservazione della terra porteranno benefici importanti nei settori applicativi marittimi.

Uno dei nuovi concetti che hanno il potenziale di rispondere a queste sfide è la navigazione autonoma della nave.

USV/AUV (Unmanned Surface Vehicles/Autonomous Surface Vehicles) e MASS (Maritime Autonomous Surface Ship) costituiscono, dunque, alcuni degli sviluppi più importanti del settore marittimo nel futuro.

In particolare, come nel campo stradale o degli UAV, è ampiamente previsto che il trasporto marittimo diventerà sempre più automatizzato, e quindi la tecnologia navale autonoma è già in fase di sviluppo e di dimostrazione in molti paesi in tutto il mondo.

Tralasciando i primi impieghi specifici militari di USV, gli studi dedicati all’automazione nel campo marittimo per scopi civili coprono, infatti, ormai più di due decenni.

Il primo esempio documentato è costituito dal veicolo del MIT del 1996 chiamato Artemis e dedicato alla batimetria automatizzata.

In Italia si ricorda il lavoro pionieristico condotto dal gruppo del prof. Caccia del Consiglio Nazionale delle Ricerche–Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l’Automazione (CNR-ISSIA, Genova ora CNR-INM) che nel 2005 realizzò i primi catamarani a guida autonoma (Charlie e SESAMO) per il monitoraggio ambientale.

Recentemente l’ASI ha realizzato il progetto ASI-porti che ha dimostrato la capacità di localizzazione con alta accuratezza delle imbarcazioni in porto tramite correzioni differenziali trasmesse sul canale AIS (Automatic Identification System).

Si stima che il mercato delle navi autonome dovrebbe crescere a un tasso veloce nel prossimo futuro. Secondo il rapporto della BIS Research il mercato navale autonomo in termini di volume dovrebbe crescere al tasso del 26,7% durante il periodo 2024-2035 e generare cumulativamente un fatturato di 3,48 miliardi di dollari entro il 2035.

Si prevede che nel 2035 ci saranno le prime imbarcazioni autonome monitorate direttamente dal sistema di bordo (ASV, MASS di livello 4).

USV/AUV e MASS costituiscono, dunque, uno degli sviluppi più importanti del settore marittimo nel futuro.

Elemento essenziale dei MASS sono tecnologie avanzate quali Position, Navigation and Timing (PNT) accurati, resilienti, con garanzia di integrità e la connettività digitale.

In questo contesto l’ASI mira a sviluppare un sistema di localizzazione marittimo fondato sui principi MSR ad alta precisione e con garanzia di integrità adatto alla guida autonoma.

Tale localizzatore sarà integrato in un prototipo MASS di livello 4 (fully autonomous) senza personale a bordo, che potrà essere testato nel sito di prova di navi autonome presso CNR-INM di Nemi, in corso di realizzazione con progetto Europeo I-MASTER (Italian MASs TEst Range) del NAVISP-elemento tre, approvato recentemente da ASI) in modo da avere un approccio olistico nazionale alla tecnologia MASS.

L’obiettivo strategico di questa iniziativa è di innalzare la consapevolezza e accrescere le competenze tecnologiche della filiera italiana nel campo della navigazione autonoma capitalizzando il lavoro del CNR-ISSIA e i successivi studi in modo da raggiungere il livello delle nazioni più avanzate del settore,



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 25 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

quali i paesi scandinavi (si citano come esempi nel settore Rolls Royce, Kongsberg, DNV GL, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)).

Tale obiettivo sarà raggiunto mettendo a punto il componente essenziale della localizzazione di bordo che sarà impiegato secondo le prescrizioni IMO per l'automazione marittima.

Tale componente è considerato un componente tecnologico abilitante per lo sviluppo del trasporto marittimo del futuro capace di apportare benefici diretti per l'utenza.

4.3 OBIETTIVI DA CONSEGUIRE

Con riferimento al settore dei sistemi di navigazione nei trasporti, le finalità del bando sono le seguenti:

- Acquisire nuove proposte per architetture/concetti/algoritmi/tecnologie innovativi al fine di promuovere l'avvio di successive realizzazioni definitive ed operative;
- Favorire la concezione di sistemi di navigazione radicalmente innovativi ed abilitanti utilizzabili nei futuri programmi realizzativi e operativi dell'ASI;
- Stimolare la creatività della comunità del settore di riferimento della navigazione favorendo un'attività di mining di idee innovative negli ambiti istituzionali (università, enti di ricerca, etc..) ed in settori industriali, anche con il coinvolgimento di soggetti non operanti in ambito navigazione;
- Incrementare la competitività dell'Italia facendo riaffiorare a livello produttivo la società della Conoscenza;
- Stimolare e Consolidare l'eccellenza nelle aree ritenute critiche e strategiche per la comunità GNSS nazionale sia di ricerca che industriale;
- Valorizzare le tecniche più avanzate che favoriscano la capacità competitiva del nostro Paese.

4.4 DESCRIZIONE E REQUISITI DELLE ATTIVITA'

I progetti di ricerca dovranno:

- avere carattere di innovatività;
- avere potenzialità commerciali e/o di trasferimento tecnologico;
- collocarsi in una prospettiva volta a concretizzare e ampliare i risultati conseguiti dalle ricerche finora sostenute dall'ASI nel settore.

Le finalità del progetto sono le seguenti:

- Acquisire nuove proposte per architetture/concetti/algoritmi/tecnologie innovativi nel settore GNSS applicati ai trasporti autonomi e automatici al fine di promuovere l'avvio di successive realizzazioni definitive ed operative;
- Favorire la concezione di sistemi di navigazione radicalmente innovativi ed abilitanti utilizzabili nei futuri programmi realizzativi e operativi dell'ASI nel settore applicativo con particolare riferimento ai trasporti;
- Stimolare la creatività della comunità della navigazione nel settore applicativo e dei trasporti favorendo un'attività di mining di idee innovative negli ambiti istituzionali (università, enti di ricerca, etc..) ed in settori industriali, anche con il coinvolgimento di soggetti non operanti in ambito navigazione;

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 26 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- Incrementare la competitività dell’Italia facendo riaffiorare a livello produttivo la società della Conoscenza nelle applicazioni del GNSS;
- Stimolare e Consolidare l’eccellenza nelle aree ritenute critiche e strategiche per la comunità GNSS nazionale sia di ricerca che industriale;
- Valorizzare le tecniche più avanzate GNSS che favoriscano la capacità competitiva del nostro Paese.

Di seguito sono delineati i requisiti relativi alle singole aree disciplinari.

Si precisa che, quando il requisito di progetto o dell’innovazione è indicato come **aggiuntivo** o **addizionale** si intende che il contraente non è tenuto a soddisfare tale requisito, ma se la proposta è conforme anche a tali requisiti la proposta stessa riceverà punti aggiuntivi nella valutazione della Commissione di gara.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 27 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Area disciplinare	a) Sistema di navigazione satellitare per il controllo marcia treni
Contesto	<p>I sistemi di trasporto ferroviario si stanno evolvendo avendo come obiettivo l’agenda digitale ferroviaria, che include ERTMS (European Railway Management System/European Traction Control System), ATO (Automatic Train Operation), comunicazioni su 5G, scambi digitali (IOT, Internet of Things), cybersicurezza, Digital Automatic Coupling e l’uso del GNSS [vedi European energy policy paper #261].</p> <p>GNSS è una delle tecnologie rivoluzionarie che potrà servire da acceleratore per la penetrazione dell'ERTMS riducendo i costi CAPEX/OPEX legate alle balise fisiche e aumentando la sicurezza del trasporto, soprattutto nelle linee regionali, sulle quali, in Italia, si trasportano circa la metà del numero totale dei passeggeri.</p> <p>Sono in corso di studio varie possibilità di introduzione di GNSS in ERTMS quali l’Odometria Avanzata per ridurre l’errore di EO specialmente in condizioni meteo avverse sfruttando un sistema di posizionamento multisensore indipendente dal computer di bordo (EVC, ERTMS Vital Computer) e utilizzando un sistema di augmentation quale il futuro sistema EGNOS Next, e il sistema basato sulla Virtual Balise (VB) con doppio livello di rete di augmentation (EGNOS e locale).</p> <p>Sulla base dell’esperienza italiana maturata nell’ultimo decennio, ASI ritiene che, a breve e medio termine, le soluzioni innovative di tipo GNSS debbano concentrarsi sul miglioramento delle prestazioni e consolidamento di ERTMS piuttosto che sullo sviluppo di nuovi concetti non retrocompatibili e che difficilmente potrebbero essere approvate da ERA (European Railways Agency) in tempi utili, perché non rientrano nell'attuale architettura ERTMS/ETCS.</p> <p>La strategia dell’ASI, condivisa a livello nazionale, è, dunque, di valorizzare le nuove tecnologie satellitari basandosi su una soluzione “plug-and-play” tramite la virtualizzazione delle balise fisiche (ovvero Virtual Balise, VB). Ciò consentirebbe di offrire al mercato una soluzione tecnologicamente avanzata nel campo del controllo marcia treno ma a costi contenuti e in tempi rapidi.</p> <p>In questo senso si sposa la strategia di inserimento graduale di GNSS nel mondo ferroviario come delineata nel progetto H2020 IMPRESS “Improving the Railway through a European GNSS (EGNSS) based Safety Service” [Jonathan Vuillaume et al., 2023] che delinea una</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 28 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

prima fase (a breve termine) dedicata a VB seguita da una fase due (a lungo termine) dedicata a Enhanced Odometry, Track Identification e Train Integrity, Length Monitoring.

La prima fase prevede un dispiegamento di balise virtuale dal 2024, con servizi operativi dal 2027, quando la balise virtuale sarà distribuita su tutti gli aggiornamenti ERTMS delle linee ferroviarie principali convenzionali e sulle linee ferroviarie di nuova costruzione tra il 2024 e il 2040.

Secondo questo studio, il 75% delle balise fisiche potrà essere sostituito da balise virtuali su quelle ferrovie entro il 2040, quando il 50% di tutte le linee ferroviarie sarà dotato di balise virtuale, ovvero il 72% di tutte le linee ferroviarie con ERTMS. Tutte le locomotive e le unità multiple saranno, inoltre, essere dotate dell'OBU corrispondente.

La soluzione con Virtual Balise consentirebbe, inoltre, di integrare l'attrezzatura ferroviaria corrente a bordo treno e a terra, con minimo impatto sulla strumentazione e materiale attuale e con ridotti oneri di certificazione.

Tale soluzione è stata anche raccomandata a livello del Parlamento Europeo come fattore di ammodernamento necessario del sistema ferroviario [punto 34 della direttiva (2021)0327].

L'accuratezza della stima della posizione della VB associata ad una più fitta distribuzione delle VB rispetto alle boe fisiche consentirà anche la riduzione della lunghezza dei blocchi mobili con il minimo impatto sull'architettura del sistema attuale basato sulle eurobalise, tramite la sostituzione del BTM con il VBR.

Questo sarà ancora più importante al crescere dell'automazione ferroviaria.

Infatti, con l'introduzione dell'ERTMS Level 3, ogni blocco sarà suddiviso in blocchi più piccoli consentendo ai treni di avvicinarsi l'uno all'altro, ma il numero di balise fisiche richieste crescerà e la loro virtualizzazione diventerà ancora più vantaggiosa sia come ritorno di investimento CAPEX e in termini di costi OPEX che con la riduzione del tempo di percorrenza.

ASI, tramite il progetto oggetto del Bando descritto in questa relazione, vuole proporre un sistema innovativo di localizzazione a bordo treno, basato sulla balise virtuale ed interoperabile a livello Europeo.

Esso sarà, infatti, già predisposto per i servizi ferroviari ad alta accuratezza richiesti da ATO e platooning.

Il prodotto risultato di questa iniziativa sarà all'avanguardia nelle applicazioni del GNSS al settore ferroviario e consentirà di fornire

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 29 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>una soluzione completa e interoperabile, potrà rispondere alle varie esigenze correnti della comunità ferroviaria e traguarderà già le funzionalità avanzate post-ERTMS.</p>
Obiettivi	<p>L’obiettivo dell’attività è quella di identificare, realizzare e testare in ambiente rappresentativo soluzioni di posizionamento ottimizzate GNSS nei trasporti ferroviari che, sfruttando tecnologie attuali, nuove e/o in fase di sviluppo, ne migliorino le prestazioni rispetto allo stato dell’arte, per la medesima classe di servizi.</p> <p>Le attività oggetto di questo bando prevedono la realizzazione del sistema di posizionamento di precisione integrato certificabile multimissione per il treno basato su GNSS.</p> <p>Obiettivo del progetto è la realizzazione di un Localizzatore di bordo Modulare Ferroviario (LOBMF).</p> <p>La caratteristica innovativa di LOBMF è costituita dall’architettura flessibile e modulare proposta che consentirà di soddisfare le varie esigenze tipo multi-missione e multiutente.</p> <p>Esso, infatti, incorporerà le sezioni “Virtual Balise Reader” e “Enhanced Odometry” e una sezione completa di “Full Positioning”, attivabili a richiesta a seconda dello stato della missione e della richiesta dell’utente.</p> <p>LOBMF sarà così una soluzione di localizzazione avanzata ferroviaria di tipo federato che possa rispondere nello stesso dispositivo sia alle esigenze del sistema della balise virtuale (VB), per una rapida introduzione “plug-and-play”, sia alle esigenze di Odometria Avanzata con interfacce dedicate che a quelle di un localizzatore completo post-ERTMS capace, quindi, già di traguardare le future applicazioni ferroviarie ad alta precisione, quali ATO e Train Coupling.</p> <p>Questa ultima soluzione completa potrà essere già usata oggi in fase SOM (Start-of-Mission) invece della guida a vista quando ancora non è stata agganciata la prima balise, risolvendo così anche una delle limitazioni del sistema attuale ERTMS ed aumentando di conseguenza la sicurezza ed efficienza di questa fase della missione.</p> <p>LOBMF sarà prototipato fino a TRL 6 e progettato in modo da essere pronto per la successiva certificazione secondo lo standard CENELEC a livello SIL-4 con opportuno apporzionamento dei requisiti di integrità e definizione dei discendenti requisiti di accuratezza avendo considerato che l’ERTMS garantisce il più alto livello di sicurezza mai raggiunto sui trasporti terrestri (SIL 4 - che implica un tasso di rischio tollerabile di 2×10^{-9} fault/ora/treno [SUBSET-088]).</p> <p>In assenza di standard comuni universalmente accettati, i requisiti di prestazione definiti dal progetto per il prodotto (accuratezza,</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 30 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>integrità, disponibilità e continuità) saranno proposti per condivisione alla comunità tecnica e scientifica del settore e contribuiranno all’adozione della tecnologia satellitare presso ERA tramite modifica delle specifiche tecniche di interoperabilità.</p>
Requisiti programmatici	<p>[RQ.1] OBIETTIVO PROGRAMMATICO – Il sistema di posizionamento integrato GNSS, applicato ai domini del treno, dovrà essere in grado di garantire il raggiungimento degli obiettivi per cui la soluzione è progettata velocizzando i processi, riducendo la tempistica, migliorando l’autonomia e ottimizzando in generale le prestazioni allo stato dell’arte.</p> <p>[RQ.2] DURATA DELLE ATTIVITA’ – la durata massima delle attività è di mesi 24 dal KO.</p> <p>[RQ.3] ANALISI DEL RISCHIO - Il contraente condurrà l’analisi del rischio delle attività del progetto e proporrà le relative azioni di mitigazione. ASI ha individuato i seguenti due rischi maggiori per il progetto, sui quali si chiede la condivisione del contraente e la proposta di azioni mitigatorie:</p> <ol style="list-style-type: none">L’introduzione delle tecnologie spaziali nel dominio rail sconta il gap esistente in relazione alle integrity performance attualmente offerte dai servizi spaziali per aeronautica rispetto ai requisiti di sicurezza del sistema ferroviario ERTMS, anche in relazione agli effetti locali caratteristici delle linee ferroviarie. Altre caratteristiche tecnologiche critiche sono costituite dalle reti di augmentation e mappe digitali interoperabili. Queste caratteristiche costituiscono, dunque, le principali barriere tecnologiche e il loro superamento costituisce la principale caratteristica di innovazione e di rischio del progetto.Nella comunità ferroviaria ancora non si è raggiunto un consenso sui parametri di prestazione GNSS per applicazioni ferroviarie di safety. Sarà, quindi, compito del contraente stimare questi valori e proporli per una standardizzazione. Ciò costituisce un forte carattere innovativo ma anche un fattore di rischio del progetto.
Requisiti tecnici	<p>[RQ.4] TRL - La soluzione proposta dovrà raggiungere, a fine progetto, il TRL 6. La certificazione del prodotto non rientra nel perimetro del progetto ma esso deve essere certification-ready.</p> <p>[RQ.5] NORMATIVA APPLICABILE – Le soluzioni tecniche dovranno essere progettate, sviluppate, realizzate e testate in aderenza alle normative nazionali ed europee di pertinenza; inoltre, dovranno essere presi come riferimento gli standard ECSS e quelli ferroviari applicabili.</p>

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 31 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.6] SAFETY - Gli aspetti di safety dovranno svolgersi in ottemperanza alle regole nazionali ed europee del settore ferroviario, e in particolare alle prescrizioni di ERTMS/ETCS.

[RQ.7] CONCETTO OPERATIVO – La soluzione tecnica proposta dovrà essere in linea con il proposto Concept of Operation ferroviario.

[RQ.8] AFFIDABILITA' – La soluzione dovrà garantire affidabilità e robustezza superiore o comparabile rispetto a quella delle soluzioni allo stato dell'arte.

[RQ.9] CONCETTO GENERALE DI LOBMF - Il concetto architettonico di LOBMF si basa su un'architettura modulare di fusione multi-sensore con algoritmi di integrità, che sfrutta una combinazione di sensori come l'unità inerziale e la mappa digitale e il GNSS, [almeno GALILEO (E1, E5), GPS (L1, L5)] per aumentare la disponibilità del servizio anche in ambienti GNSS-denied o challenging per effetto di oscuramento e multipath (con dead-reckoning) e ridurre l'ampiezza dei livelli di protezione.

Per quanto riguarda l'augmentation, LOBMF beneficia di sistemi di correzione dedicati (DGNSS, N-RTK, PPP-RTK) e pubblici come EGNOS nella versione corrente ed è predisposto per i futuri servizi Safety-Of-Life DFMC (L1, L5) di EGNOS e EGNOS-next.

Da un punto di vista architeturale LOBMF si compone di:

- LOCF (Localizzatore Ferroviario)
- RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)

Il localizzatore integrerà nella sua architettura almeno una tecnica di Machine Learning.

Per i dettagli implementativi dei due moduli e le tecniche di ML/DL si rimanda il contraente alla Nota Tecnica.

[RQ.10] SENSORI – Sarà compito del contraente selezionare i sensori più adatti all'ambiente di uso, da affiancare al ricevitore GNSS e a IMU, che sono considerati indispensabili in un'architettura multi-sensore.

Si raccomanda di utilizzare il più possibile i sensori disponibili a bordo al fine di ridurre i costi di installazione ed esercizio.

Nel caso ferroviario di specie ciò corrispondere a utilizzare le informazioni odometriche del sistema ETCS.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 32 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Si segnalano, inoltre, possibili nuovi sensori in via di introduzione nel campo ferroviario quali LiDAR e RADAR che potranno essere associati a landmark o ad una mappa HD per il posizionamento assoluto ovvero utilizzati in posizionamento relativo.

Nella Nota Tecnica si riportano le caratteristiche minime da rispettare dei sensori.

Per i sensori non citati sarà compito del contraente fornire le specifiche minime.

- [RQ.11] DTM (On-Board Digital Track Map) - DTM viene caricata a inizio missione dal sistema track-side e contiene la geometria dei binari e la localizzazione di punti chiave come gli scambi e le VB (incluso l'informazione delle balise medesime, ovvero user bits). LOBMF si interfacerà con DTM eseguendo la conversione del posizionamento PVT da 3D a 1D, e fornirà la PVT in corrispondenza della radio-bona mappata su DTM. GAD/TV fornirà le informazioni di aggiornamento della DTM. Per gli standard delle mappe digitali ferroviarie si veda il documento RCA [Digital Map System Definition RCA.Doc.59 v1.0] e il documento CLUG [D5.4 – Definition of the Required Maps for Localisation]. Le funzioni principali di DTM sono:
- Map-matching dell'output della posizione 3D del sistema di localizzazione LOCF a un movimento 1D lineare lungo il bordo del binario corrente
 - Supporto all'algoritmo di selettività del binario per determinare l'ID corrente del bordo del binario sul quale si trova il treno
 - Limitazione degli errori dei sensori di posizionamento utilizzando la mappa
 - Verifica dell'integrità del sistema controllando le caratteristiche del binario misurato rispetto ai dati della mappa / caratteristica del binario.

- [RQ.12] ARCHITETTURA DI LOCF – Sulla scorta della Nota Tecnica ASI raccomanda di adottare un'architettura federata secondo le seguenti possibilità:
- Soluzione federata robusta plug-and-play con sezioni attivabili separatamente, secondo il profilo di missione, costituite da due filtri locali GNSS/INS/AUG e GNSS/Odometer/AUG/RFID che condividono il sensore GNSS/AUG e sono federati in un filtro master. Questa



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 33 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

soluzione è scalabile per fase di missione ed è fault tolerant nel caso LOCF-FP perché le due soluzioni sono entrambe in grado di fornire un posizionamento assoluto.

- b) Soluzione federata classica, con sezioni attivabili secondo il profilo di missione, costituita da INS in connessione parallela a GNSS/AUG e Odometer e RFID. Questa soluzione ha il vantaggio di lavorare alla massima frequenza (p.es. 100 Hz) migliorando i tempi di risposta in ambiente dinamico.
- c) Soluzione adattiva costituita da una delle soluzioni precedenti ma con capacità di aggiornamento delle informazioni di ritorno nella variante FFR (vedi la Nota Tecnica per la discussione sui filtri federati).

La soluzione federata consente di gestire i sensori separatamente prima della fusione consentendo la rilevazione delle misure erranee anche a livello di sensore, aumenta l'affidabilità del sistema, introducendo una ridondanza per il sensore di dead-reckoning, consente l'attivazione separata dei moduli senza impatto sul filtro locale in funzione, riduce il carico computazionale rispetto ad un unico filtro centralizzato con la stessa frequenza dei dati in uscita.

N.B.: In alternativa al filtro federato il contraente può proporre un filtro multisensore FGO dimostrando il beneficio della soluzione rispetto al filtro federato in termini di flessibilità, robustezza, carico computazionale e adattività alle diverse condizioni ambientali.

[RQ.13] CONFIGURAZIONI DI LOCF- Si prevedono due configurazioni di LOCF, selezionabili a seconda del tipo di missione:

- e. [LOCF-VB] (virtual Balise). Tale soluzione sarà attivata nel caso di Full Supervision di ERTMS/ETCS con EGNOS attuale e sue evoluzioni (EGNOS V3 e EGNOS next) e/o sistemi di augmentation locale DGNSS. L'accuratezza prevista sarà metrica; si veda il requisito di accuratezza dedicato in questo capitolato.
- f. [LOCF-FP (Full Positioning)]. Tale soluzione sarà attivata per soddisfare le esigenze iniziali di missione:
 - i. Durante SOM (start of the Mission) fornisce supporto alla funzione Cold Movement Detector (CMD) in modo NP (No Power) e SB (Stand-By). CMD rileva i movimenti del treno mentre l'apparecchiatura è in modalità No Power



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 34 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

(l'apparecchiatura non è accesa). Se l'unità di localizzazione funziona in modo indipendente dalla potenza del treno, la funzione CMD confronta le posizioni del treno quando entra ed esce dalla modalità NP e rileva il movimento del treno durante l'NP.

- ii. Supporto della fase operativa di Inizio Missione in modo SR (Staff Responsible), laddove in assenza delle balise si deve ricorrere ad una procedura manuale prima di agganciare la prima radio-boa disponibile. In questa fase è facoltà del RBC di rifiutare il rapporto di posizione stimato da OBC se considerato non affidabile o imporre limitazioni di velocità; LOCF-FP può fornire il supporto per ridurre l'impatto operativo durante questa fase [pari al 3% della missione (SUBSET-088)].
- iii. Supporto nella fase operativa di Inizio Missione alla discriminazione del binario. Normalmente il rilevamento del binario corretto è garantito attraverso l'uso di Informazioni di collegamento (linking Information), che sono disponibili da RBC. In assenza di tali informazioni (quali in SOM), LOCF-FP fornirà la capacità di discriminazione del binario senza bisogno di comunicazione da RBC per garantire il corretto posizionamento di cui al punto precedente. Il problema di track discrimination non può essere risolto dalle normali tecniche di track-snapping (vedi il requisito di conversione da 3D a 1D) ma richiede tecniche specifiche in presenza di binari paralleli o scambi, se non sono fornite informazioni esterne al treno. Si vedano p.es. [Map-matching basata su recursive Bayesian estimation (MRBE) basata su DTM, distanza e giroscopio, con risultati positivi e intervallo di confidenza del 96,3%; Tao Yang et al., 2020], [RTK-based con $P_{fa} = 10E-20$; A. Neri et al, 2017], [Discriminazione con giroscopio MEMS con prestazione di $P_{fa} \ll 10E-9$; Broquetas et al., 2012], [Identificazione del binario basata sulla integrazione del giroscopio, odometro e DTM, Samer S.Saab,2000]e [Clément Fouque, Philippe Bonnfait, 2012, laddove il MM è ottenuto direttamente dagli pseudorange con un MPF e si ottiene un intervallo di confidenza medio del 89%] e infine [P.Brocard , 2020].



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 35 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

L'accuratezza prevista è sub-metrica; si veda il requisito dedicato di questo capitolato per i requisiti accuratezza raggiungibile con tecniche di augmentation (N)RTK e/o PPP, PPP-RTK.

Lo scopo è quello di fornire piena funzionalità di localizzazione potendo stimare la posizione, la velocità, la direzione e il binario a bordo.

Tale versione potrà anche essere usata anche per linee locali non ancora attrezzate con VB [Burkhard Stadlmann,2006].

Tale versione è pensata, infine, come precursore tecnologico per le future operazioni ATO e platooning e supporta la calibrazione dell'odometro.

Tale soluzione, nel caso siano disponibili RFID, sarà attivata anche per soddisfare le esigenze iniziali di missione e di oscuramento forte o completo e prolungato, quale il caso di gallerie, montagne, centri urbani e folta vegetazione, in modo indipendente dalle balise fisiche.

Le due configurazioni sono attivabili in modo automatico a seconda del tipo di modo operativo (SOM-NP/SB/SR o FS o oscuramento del GNSS) secondo la seguente modalità:

- [LOCF-VB]. Tramite attivazione della sola sezione GNSS/INS/AUGM del filtro federato.

L'uscita del filtro di fusione dopo FDE e MM sarà trasmessa a EVC. Questa è considerata la configurazione ottima multi-sensore GNSS ferroviaria, visto il minore impatto sulla configurazione ETCS corrente, perché sostituisce la balise fisica con una virtuale in modo del tutto trasparente per EVC.

Si applicano i principi dell'architettura LOCF-VB declinati nei requisiti successivi fondati su VBR (Virtual Balise Reader).

Deve essere garantito il rispetto del livello di confidenza massimo stimato con le balise fisiche

I risultati della letteratura confortano questa scelta, si vedano p.es. [Liu Jiang et al., 2010, laddove con filtri UKF, PF e CKF si ottengono valori simulati RMSE max di **1,76 metri** in clear sky e con introduzione di un segnale di errore di tipo Gaussiano di durata di 10 sec] e [Omar Garcia Crespillo et al., 2014, laddove si registra un RMSE max di **1,37 m** con fusione stretta di GNSS, IMU e DTM]. Si segnala, inoltre, [Zhuojian Cao, 2022] che ha simulato il comportamento di un filtro GNSS/INS/Trackmap di



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 36 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

tipo MAP-AICKF [(Adaptive Iterated Cubature Kalman (AICKF) basato su Maximum A Posteriori (MAP))] per mitigare la vulnerabilità del GNSS negli scenari di interferenza del segnale e ha raggiunto una riduzione dell'errore medio del **64.47%** con una interferenza di -70dBm.

- [LOCF-EO]. La soluzione di “Enhanced Odometry” è ottenuta tramite attivazione della sola sezione GNSS/INS/AUGM del filtro federato ma, ad differenza di LOCF-VB, l'uscita del filtro di fusione dopo FDE e MM sarà trasmesso a EVC con protocollo dedicato. Questa configurazione è considerata sub-ottimale perché richiede la definizione di un'interfaccia specifica fra LOCF-EO e EVC. Si veda p.es. il progetto FP6 “GRAIL” in cui si è utilizzato il protocollo PROFIBUS fra terminale GNSS e i sistemi di bordo per realizzare il principio di Odometria Avanzata [E. Gonzalez et al., 2012].

La scelta di implementare tale soluzione è a discrezione del contraente ed è aggiuntiva rispetto a LOCF-VB e nel caso venga proposta dovrà essere definito un protocollo di interscambio aperto e non proprietario.

Essa costituisce titolo di merito aggiuntivo per la proposta.

Le prestazioni di LOCF-EO saranno le stesse di LOCF-VB cambiando la sola interfaccia verso EVC.

- [LOCF-FP (Full Positioning)]. Tramite attivazione simultanea delle due sezioni (o tre sezioni a seconda della configurazione prescelta) fuse in un filtro federato, a condizione che venga rispettato il livello di confidenza massimo stimato con le balise fisiche.

I risultati della letteratura confortano questa scelta, si veda p.es [High-speed Train Navigation System based on Multi-sensor Data Fusion and Map Matching Algorithm, Kwanghoon Kim et al., 2015, laddove si ottiene RMS **inferiori al metro** dopo Map Matching con DGNSS], e [Wei Jiang et al. 2015, in cui sono presenti due sezioni di accoppiamento attivabili separatamente in dipendenza dalla presenza o meno del segnale GNSS e si ha un RMSE max di **1,02 metri**]. Si veda inoltre [P. Brocard, 2020] che integra la soluzione along-track con quella cross-track per la discriminazione del binario. Per



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 37 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

l'integrazione delle correzioni RTK direttamente in coordinate topologiche si veda [Track Constrained RTK like Positioning for Railway Applications, A. Neri et al, 2017, laddove si raggiunge un'accuratezza con varianza max di **5 cm** along-track].

Si veda, infine, [Liu Jiang et al., 2016, con accoppiamento GNSS e odometro filtrato con PF laddove si presentano risultati delle simulazioni con varianza orizzontale max di 0,38 metri] e anche [M. Malvezzi et al., 2013], [Alessandro Neri, Salvatore Sabina, Umberto Mascia, 2015].

Questa soluzione può essere attivata in sostituzione di [LOCF-VB] in situazioni di oscuramento (tunnel) e in assenza di balise fisiche.

Si veda [C. Reimer et al., 2016], laddove si è riscontrato un errore totale di **20 m** (modello high-end di tipo RLG, iNAT-RQT-4003) nella galleria del San Gottardo (57 Km). Si veda anche [Zhenqian Sun, 2021] in cui sono misurati RMSE max di **2,32 metri** all'uscita di una galleria di 9 Km. In queste configurazioni il contraente deve prevedere tecniche di compensazione del disallineamento fra carrozza e carrello delle quattro ruote (bogie) in curva.

Costituisce titolo di merito aggiuntivo l'implementazione di tecniche per mitigare gli errori di slittamento/scivolamento delle ruote. Si veda p.es. [M. Malvezzi et al., 2013], [Cai Baigen et al., FDE] e [Kwanghoon Kim et al., 2015, laddove vengono riportati i risultati che dimostrano la riduzione di circa un terzo degli errori slip/slide dell'odometro con accuratezza RMSE max di **1,04 metri**].

La presenza di RFID è raccomandata per le zone di forte o totale oscuramento del GNSS (p.es gallerie e stazioni) o in zone soggette a jamming/interferenze ambientali, laddove la deriva dei sensori relativi non è in grado di mantenere l'accuratezza prevista dalla soluzione LOCF-FP (Full Position)] per tutto il tempo di attraversamento, senza ausili esterni. Si veda p.es. [Kwanghoon Kim et al., 2015], laddove si ha un errore RMS max di **1,5metri** dopo MM, con un intervallo di spaziatura fra RFID compreso fra 100 metri e 5000 metri all'interno della galleria di 37 Km. Per raggiungere il requisito di **0,25 metri** (1 sigma) di accuratezza nelle zone oscurate (tunnel, approccio del treno in



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 38 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

banchina della stazione, parcheggio coperto) verrà impiegato l'uso di correzioni RTK su protocollo NTRIP ovvero PPP (o PPP-RTK) anche risoluzione dell'ambiguità in modalità floating.

In dipendenza dal modo operativo saranno attivate le specifiche interfacce verso OBC e gli specifici servizi di augmentation del GNSS. Sarà cura del contraente valutare le assunzioni di questo requisito assunzione e proporre eventuali alternative se ritenute più soddisfacenti e opportunamente motivate.

In particolare, altri sensori possono essere inseriti a discrezione del contraente (p.se LIDAR, camera, VO, Balise fisiche...) per raggiungere gli obiettivi di disponibilità e integrità prefissati.

[RQ.14] SOLUZIONE PVT TRACK CONSTRAINED - Le soluzioni possono essere standard 3D o direttamente a 1D (soluzione PVT di tipo track constrained).

In quest'ultimo caso, una volta nota la posizione del ricevitore senza vincolo a 3D, esso può essere usato come punto iniziale per l'iterazione del calcolo dell'ascissa curvilinea che permette di calcolare le soluzioni di navigazione PVT GNSS direttamente in coordinate curvilinee a partire da coordinate geografiche (p.es ECEF) delle misure [P. Salvatori et al., 2018], [Alessandro Neri et al., 2013 e 2015].

Questo metodo consente di fissare la soluzione PVT estratta da GNSS con due soli satelliti una volta calcolata la matrice Jacobiana. Questo metodo è stato verificato con successo nei canyon urbani quando il numero di satelliti visibili è limitato, ma senza dead-reckoning [Youjing Cui et al., 2003], al contrario di LOCF che è un localizzatore con fusione multisensore,

Tuttavia, come nella proiezione della soluzione 3D su mappa vengono introdotti errori, questa volta dovuti alla linearizzazione della posizione tramite l'approssimazione del primo ordine, che devono essere valutati.

Infine, poiché la soluzione LOC-FP è a 3D per la discriminazione del binario, devono essere proposte soluzioni di discriminazione del binario nel sistema di riferimento curvilineo utilizzando i vari sistemi di correzione (RTK e PPP).

Si perderebbe in ogni caso la soluzione in coordinata verticale utile per future applicazioni ATO.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 39 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Il contraente può, comunque, proporre ad ASI la soluzione del filtro federato in coordinate curvilinee a fronte di un’analisi costi benefici. Una soluzione di parziale linearizzazione si può ottenere, invece, con il metodo map-enhanced RAIM con misure virtuali di pseudorange che sfrutta il vincolo di binario della posizione prevista e la stima della velocità dell’odometro per migliorare la FDE [Jiang Liu et al., 2019].

[RQ.15] ACCURATEZZA DELLA PVT (LOCF-VB) - L’ accuratezza del ricevitore LOCF-VB integrando le VB dovrà essere compatibile con le applicazioni ferroviarie attuali. Non esiste consenso attualmente sui requisiti di accuratezza della PVT o TTA del GNSS ferroviario come nel caso aeronautico basato sui MOPS (Minimum Operational Performance Standard) applicabili; si veda p.es. l’ultimo UCP report di EUSPA. Attualmente l’accuratezza complessiva della posizione di TU (che include l’ errore delle balise e dell’odometro) non deve eccedere il limite complessivo, come prescritto da SUBSET-041, “*for every measured distance s the accuracy shall be better or equal to $\pm (5m + 5\% s)$, i.e. the over-reading amount and the under-reading amount shall be equal to or lower than $(5m + 5\% s)$ ”*. Per la velocità il requisito è” $\pm 2 \text{ km/h}$ for speed lower than 30 km/h, then increasing linearly up to $\pm 12 \text{ km/h}$ at 500 km/h”. Si richiede inoltre una deriva massima dell’orologio di bordo pari allo 0,1%. Per quanto riguarda le balise fisiche si applica il requisito per funzioni critiche [SS036, chapter 4.2.10.3], ovvero +/- 1 metro al passaggio sulla balise fisiche.

Si noti che il calcolo di ATPL è dinamico, a differenza del caso di Eurobalise fisiche (1m per funzioni critiche) e dipende dall’ambiente di propagazione, dalla geometria del satellite e dai fenomeni locali quali Electromagnetic Interference (EMI).

Nel caso della VB, la componente legata alla captazione VBLREB (Q_LOCACC più eventuale margine variabile) dell’intervallo di confidenza calcolato dal ERTMS/ETCS Kernel e basato su VB, non deve eccedere +/-25m [RFI DT STER SR IS 22 002 1 0]. Il progetto ERSAT-EAV ha invece considerato 30 metri di errore massimo. Si vedano anche i risultati di [C. Legrande, 2017] che ha stimato un valore massimo di errore di 20 mt in relazione alla tolleranza tipica del sistema di frenatura.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 40 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Ciò è stato confermato anche in [STARS-EGNSS Target Performances to meet railway safety requirements, 2017] che ha stimato un errore massimo di 20 metri con $THR < 7,5 \cdot 10^{-6}$ /hour (TTA=10s).

*Considerando le specifiche attuali di AL di 20 mt e l’allocazione preliminare di THR (circa $THR 7.5E-6/h$, fattore di inflazione pari a 6), ASI stima l’errore complessivo del localizzatore nella dimensione along-track [PVT 1D] (inclusi gli errori di sincronizzazione, di augmentation e della DTM) non superiore a **6,6 metri con distribuzione a 2 sigma (95%) con un Alarm Limit di 20 metri.***

Questo valore rientra nella fascia di oscillazione di 10-30 metri per AL come stipulata in [S. Lo et al., 2017 (RHINOS)].

Con il sw modificato MAAST della Stanford University si è potuto dimostrare nel progetto RHINOS che l’obiettivo di AL prefissato è raggiungibile.

RHINOS, infatti, ha raggiunto come obiettivo delle simulazioni un AL di 12 metri (FS) per un sistema 1F smoothed code-based con FDE a tre livelli (SBAS, LDGNSS (anche correzioni) e ARAIM). N.B.: RFI non sono state modellate e si è usato un modello Code Noise MultiPath (CNMP) modificato al caso ferroviario.

Sarà compito del contraente confermare o stimare (con opportuna giustificazione) l’accuratezza del localizzatore LOCF-VB obiettivo del progetto e verificare il valore dei discendenti PL con simulazione e con dati reali sul campo.

In ogni caso, l’intervallo di confidenza del TU calcolato da OBC sulla base delle informazioni di LOCF-VB non può superare l’analogo valore calcolato con le balise fisiche.

[RQ.16] ACCURATEZZA DELLA PVT (LOCF-FP) - Si considerino i casi d’uso già di SOM descritti per LOCF-FP. Inoltre, si considerino anche i futuri servizi ferroviari di Automatic Train Operation (ATO) di tipo superiore a GoA2 (i.e. GoA 3 or 4, con o senza guidatore) e Platooning (train virtual coupling). I requisiti di LOCF-FP consentiranno di ridurre il contributo del localizzatore all’intervallo di confidenza riducendo il rischio di impatto operativo (ritardo o arresto anticipato rispetto a EoA) nel caso di superamento del profilo di intervallo di confidenza previsto da ERTMS. Inoltre, predisporranno LOCF-FP per il sistema per Hybrid Level 3 (HL3)] con adeguata riduzione della lunghezza dei blocchi mobili [VSS: virtual sub-section] in cui verranno segmentati i blocchi fissi, nel caso RAGF-FP.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 41 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Con riferimento a OCORA e LWG (si veda la sezione dei documenti di riferimento), l'analisi del progetto Helmet e i requisiti utente EUSPA di UCP 2021, si assumano come per TU i seguenti requisiti PVT:

- Un'imprecisione temporale di max ± 10 ms;
- Accuratezza della posizione stimata del fronte del treno per approssimare al meglio EBI (Emergency Brake Intervention supervision limit) (valori a due sigma):

Type of Area	Estimated position accuracy (p=95.4%)
Mainline / Dense traffic line	± 5 m
Train traffic node	± 1 m
Precise positioning area	± 1 m

- LOC: In condizioni di funzionamento sicuro e preciso (parking areas, stopping, coupling e shunting), si deve fornire una posizione sicura del fronte del treno con una posizione stimata con una precisione di $\pm 0,50$ m con una probabilità a due sigma per i treni che si muovono a velocità inferiore a 30 km/h.
- Il massimo intervallo di confidenza è di ± 30 metri per linee ad alta densità e ± 10 metri negli altri casi. *In ogni caso l'intervallo di confidenza di LOCF-FP non può superare l'analogo valore calcolato con le balise fisiche.*
- Si deve fornire una velocità stimata del treno con una precisione di 1 km/h per velocità da 0 km/h a 100 km/h e $\pm 1\% \cdot v$ per velocità da 100 km/h a 500 km/h con probabilità a due sigma.
- CMD: PNT con accuratezza orizzontale inferiore a 1 metro con TTA massimo di 10sec e soluzione SI-4.
- DISCR, Discriminazione del binario: PNT con accuratezza orizzontale inferiore a 1,9 mt con TTA massimo di 10-30 sec e soluzione di tipo SIL 2-4.
- CAL, Calibrazione dell'odometro: PNT con accuratezza orizzontale inferiore a 1 metro con TTA massimo di 10sec.

Considerando le specifiche dell'errore di localizzazione sopra riportate e un THR pari a $1 \cdot 10^{EXP-4}/h$ (fattore di inflazione K_f pari a 5,55), come ricavato dagli studi di NGTC riportati in STARS, per le quattro funzioni sopra riportate, avremo i seguenti AL:

- LOC: AL di 5,55 mt e accuratezza di 1 mt (2 sigma) [LONG.]



Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- *CMD e CAL: AL di 1 metro e accuratezza di 0,36 mt (2 sigma) [ORIZZ.]*
- *DISCR: AL di 1,9 metri e accuratezza di 0,68 mt (2 sigma) [ORIZZ.]*

Considerando il requisito più restrittivo, ASI stima i seguenti requisiti di accuratezza e integrità per LOCF-FP:

- *AL di 5,55 mt e accuratezza di 1 mt (2 sigma) [LONG.]*
- *AL di 1 metro e accuratezza di 0,36 metri (2 sigma) [ORIZZ.]*
- *AL della velocità da stimare a cura del contraente e accuratezza compresa fra 1 e 5 km/h (2 sigma). [LONG.]*

Sarà compito del contraente confermare o stimare (con opportuna giustificazione) l'accuratezza del localizzatore LOCF-FP obiettivo del progetto e calcolare l'Alarm Limit in corrispondenza al valore di THR apporzionato a LOCF-FP.

Per l'accuratezza verticale non viene emesso un requisito specifico e sarà compito del contraente definire un requisito compatibile con le future applicazioni ATO. Come requisito minimo, da un punto di vista euristico (esperienza del GPS, con un buon ricevitore e valori a due sigma), nelle medesime condizioni di acquisizione si può considerare un rapporto fra le accuratezze $V/H = 5/3$.

[RQ.17] ARCHITETTURA DI LOCF-FP – In questo caso la fornitura prevede:

- a. Il ricevitore LOCF-FP fondato su un filtro federato completo.
- b. Un'interfaccia con EVC per ricevere i dati di augmentation e caricare la DTM e fornire i dati di posizione necessari a inviare a RBC il rapporto di posizione costituito dalla posizione a 1D (ATP) dopo map matching (distanza chilometrica dall'ultimo punto di riferimento), errore di over-reading e under-reading, l'intervallo di confidenza basato su ATPL, eventuali messaggi di integrità (Health flag), la velocità stimata e l'intervallo di confidenza della velocità di TU, la direzione del movimento nonché l'identificazione del binario.

Il contraente proporrà uno standard di interfaccia il più possibile indipendente dalle architetture proprietarie di EVC e tale da sostituire EO (ERTMS Odometer) con LOCF-FP.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 43 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.18] ARCHITETTURA DI LOCF-VB – ASI supporta il concetto di *Virtual Balise (VB)* come possibile acceleratore della penetrazione del GNSS nel contesto ferroviario riducendo i costi dell’aggiornamento dei sistemi attuali e della certificazione. In tale approccio, i punti informativi degli attuali sistemi di segnalamento – le boe lungo la linea – saranno integrati/sostituiti da boe virtuali (VB) basate sul ricevitore satellitare, integrato nel sistema di segnalamento ERTMS/ETCS. Conseguentemente, LOCF-VB, ha come vincolo architettonico la necessità di integrarsi con il *Virtual Balise Reader (VBR)*. VBR sarà sviluppato ad hoc in aggiunta a LOCF-VB, ovvero potrà essere licenziato gratuitamente ad ASI se è già sviluppato in progetti precedenti del contraente. VBR contiene al suo interno tre moduli principali (si veda, a titolo di esempio, il diagramma preliminare del VBR [C. Wullens. 2018]):

- a. *Interfaccia con VBR-LOCF*. VB. LOCF-VB si interfacerà con VBR e riceverà, tramite tale dispositivo, i dati di correzione e integrità dalla rete di Augmentation di Terra come prodotti da GAD/TV trasmessi con messaggi su canale Euroradio e i messaggi dell’EO.
- b. *Virtual Balise Detector (VBD)*, che sostituisce il lettore fisico BTM (Balise Transmission Module) del gruppo di radio-boe (balise) fisiche e rileva invece il telegramma VB dalle posizioni dei radiofari virtuali riportati su DTM. VBD fornirà lo stesso tipo di informazioni e nel formato previsto dal lettore di balise reali. LOCF-VB si interfacerà con VBD fornendo i dati di posizione 1D del treno, ovvero ATP e ATPL dopo l’operazione di map-matching.
- c. INTERFACCIA VBR -EVC fornirà le informazioni a On-Board Kernel (EVC) nella forma di telegrammi Eurobalise (vedi subset 26 capitolo 8) come ricevuti da VBD. Ogni balise virtuale deve essere identificata e contenere informazioni codificate secondo le regole ERTMS/ETCS. I telegrammi conterranno [vedi ERTMS/ETCS SUBSET-036] i segnali di controllo (CRC, control e synchronisation bits) e i dati seguenti:
 - User bits (balise information).
 - “balise location reference information” che include:
 - Dati di posizione (o di tempo) al passaggio sulla balise rispetto al riferimento iniziale di tempo e posizione fornito dall’odometro.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 44 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<ul style="list-style-type: none">○ VBLREB (Virtual Balise Localization Error Bound) della virtual balise selezionata. Nel caso di Eurobalise fisiche l'errore di localizzazione ha un valore massimo di +/-1 metro per funzioni critiche, mentre per VB esso è composto da ATPL, che tiene conto del valore di overbounding del GNSS e degli altri errori di posizione (augmentation, sensori, conversione con MM...) <p><i>N.B.A differenza del caso aeronautico, non è esiste un potenziale pericolo per superamento di ATPL, quando viene emesso un allarme di indisponibilità delle misure al pilota, ma in caso di superamento dell'intervallo di ATPL (e VBLREB) max, ETCS ricalcola automaticamente l'intervallo di confidenza e nel caso si riduca lo spazio di frenata, a parità di intervallo di confidenza corrente, deve aumentare la frenatura di TU con impatto operativo di ritardo o anticipato arresto in stazione.</i></p>
Requisiti di innovazione	<p>[RQ.19] BENEFICI – I benefici introdotti dalla soluzione dovranno essere misurabili in relazione al contesto in cui sono applicati.</p> <p>[RQ.20] EVOLUZIONE DELLA SOLUZIONE – la soluzione deve assicurare indipendenza nazionale ed europea, eccellenza ed eventuale unicità dal punto di vista scientifico, tecnologico, applicativo e di servizi; le prospettive di ritorno industriale saranno oggetto di valutazione.</p> <p>[RQ.21] INNOVAZIONE – il contenuto di innovazione deve essere identificato e garantito in termini di algoritmi di processamento, decision making e monitoring processes e/o architetture realizzative efficaci e/o approcci innovativi di V&V al fine di ottenere benefici per tecnologia/applicazioni/servizi nei settori tecnologici presi a riferimento, rispetto allo stato dell'arte.</p> <p>[RQ.22] CERTIFICAZIONE – LOBMF devono raggiungere il livello TRL 6, ovvero deve essere fornito un prototipo di cui sono testate le funzioni critiche in ambiente ferroviario reale. Non è richiesta la certificazione per uso ferroviario ma i dispositivi devono essere “certification ready” ovvero tutte le analisi preliminari per ottenere la certificazione devono essere state svolte, con particolare</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 45 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

riferimento alla certificazione di sicurezza secondo gli standard CENELEC.

Le analisi svolte nel progetto includeranno come minimo:

- d. Funzioni, interfacce e prestazioni
- e. Fabbricazione di apparecchiature
- f. Affidabilità, disponibilità, manutenibilità, sicurezza (RAMS)
- g. Altro come deciso del contraente

Si veda a questo proposito il regolamento Europeo di interoperabilità e di sicurezza.

Considerato la novità dell'uso del GNSS in ambito ERTMS/ETCS, massima attenzione sarà nella stesura dei documenti relativi alle specifiche funzionali, denominati specifica dei requisiti di sistema (SRS), che dovranno essere concordati e accettati dalla Comunità Ferroviaria.

Se il cambio al sistema attuale di segnalazione è significativo si dovrà presentare il caso al CSM Assessment Body (CSM AB), ma questa attività è fuori dal perimetro del progetto.

L'aspetto di sicurezza è un aspetto chiave del progetto e si richiede di preparare l'analisi RAMS dell'apparato in conformità ai principi del regolamento Europeo, dei CSM-RA (Common Safety Method for Risk evaluation and Assessment) e delle norme CENELEC EN 50129, EN 50128, EN 50126 e standard associati.

Il successivo processo di istruzione del safety case (nelle sue tre possibili declinazioni [Prodotto generico, Applicazione generica e Applicazione specifica], e con tutte le evidenze tecniche, i riscontri dell'ente di verifica e il certificato di conformità del realizzatore), l'approvazione da parte di ISA [Independent Safety Assessor] (o NoBo=Notified Body) e la certificazione secondo CSM-RA da parte di ISA è fuori dal perimetro del progetto.

Per il caso specifico di sicurezza di questo progetto si raccomanda di eseguire la metodologia contenuta in [ALEŠ Filip et al., 2018].

In questo senso il realizzatore del progetto dovrà considerare i seguenti elementi minimi:

- *Worst case scenario*
- *Allocazione dei rischi di integrità*
- *Eventi mitigatori dei rischi, barriere di sicurezza e architetture fail-safe*
- *Modelli di bounding delle distribuzioni di errori delle misure*
- *ICD fra bordo e terra e relativa messaggistica*
- *Calcolo dei livelli di protezione*
- *RAIM ferroviario*

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 46 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- *Differenze fra integrity avionica e ferroviaria*
- *Protezione da effetti ambientali e locali*
- *Progetto del sistema in modo da contribuire a SIL-4 di ATP*
- *Prestazioni dei sistemi di augmentation (accuratezza, integrità e disponibilità)*

Nel progetto dell'apparato si terrà conto, infine, delle prescrizioni ambientali (temperatura, pressione, umidità, eventi meteo, altitudine, esposizione solare, vibrazione, shock, EMC, inquinanti, chimico, ...) e ergonomiche (per installazione in cabina), vedi [ERTMS USER GROUP, ERTMS/ETCS Environmental Requirements].

[RQ.23] TIME TO ALARM (TTA) - Si faccia riferimento al SUBSET 041 dove viene definita la frequenza per l'invio di report sulla posizione (PR) nella variabile contenuta nel messaggio treno-binario TCYCLOC; inoltre, si consideri la variabile MLOC che definisce la posizione/il momento in cui il treno deve comunicare la sua posizione. Lo standard non indica valori di riferimento ed è compito del singolo operatore ferroviario stabilirli. Il solo riferimento è dato in SUBSET-041 in cui l'età del PR deve essere precedente a un secondo antecedente l'invio a RBC (information age). Si consideri la stima del tempo di elaborazione di OBC (tipicamente da 2 a 5 secondi) a cui deve essere aggiunto un tempo per la propagazione al RBC (tipicamente di 1 secondo); ciò porta ad una stima di 3-6 secondi per il tempo di presentazione a RBC di PR che dovrà essere inferiore al periodo di ripetizione del PR.

Di questo tempo una parte dovrà essere allocato al TTA delle sole misure GNSS inviate a OBC. Ciò conduce ad una stima di un *TTA inferiore a 4 secondi* [C. Legrand et al., 2017] e [A. Zimmermann and G. Hommel, 2005].

Sarà cura del contraente confermare la stima di 4 secondi o stabilire altro valore per TTA, ovvero il tempo intercorso fra la presentazione del guasto GNSS e la sua presentazione a OBC, comprendendo il tempo di elaborazione dei livelli di protezione e di trasmissione al computer di bordo.

[RQ.24] FUNZIONALITA' AVANZATE CON GNSS– Saranno valutate come titolo di merito addizionale per l'innovazione le funzioni seguenti che potranno essere dimostrate anche con simulazione e/o analisi.

- *Integrità del convoglio* – Costituisce caratteristica innovativa la capacità di controllare l'integrità del convoglio ferroviario. Questa



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 47 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

capacità implica un controllo sulla integrità e lunghezza dei treni, soprattutto per treni con composizione non fissa di vagoni (treni merci). L'informazione di integrità TIMD (confermata, persa o sconosciuta) deve essere trasmessa a bordo linea al fine di implementare il L3. Il monitoraggio della lunghezza potrebbe essere fornito da due sistemi di posizioni, all'estremità anteriore e posteriore del treno. Si veda p.es. [Juliette Marais et al, 2018], OCORA e GSA UCP report per i requisiti accuratezza.

- *scambio automatico* in modalità Full Supervision senza bisogno di segnalamento aggiuntivo.

- *protezione del passaggio a livello*. L' applicazione di protezione del passaggio a livello è in grado di inviare una limitazione di velocità al treno. Il valore della restrizione di velocità dipende dallo stato del passaggio a livello rilevato, dalla linea e dalla direzione del movimento. Si veda GSA UCP report per i requisiti accuratezza.

[RQ.25] ELEMENTI DI FORNITURA– Verrà fornito il sistema LOBMF che include, come minimo, il ricevitore GNSS integrato con altri sensori, le sue interfacce interne ed esterne, il sincronizzatore di tempo, il datalogger, le antenne GNSS (vedi requisito dedicato) e il gestore della DTM. Tali sistemi saranno realizzati dapprima con un ricevitore SDR e/o una Elegant Breadboard per le prove in laboratorio e successivamente saranno realizzati su un SOC (System on Chip) /FPGA per l'accettazione finale e la consegna al cliente. Sono ammessi componenti COTS e OEM. Si raccomanda l'uso di SoC per ottimizzare la fase di sviluppo e manutenzione del ricevitore. Il ricevitore GNSS deve essere conforme alle prescrizioni della Nota Tecnica e l'unità di misura inerziale (IMU), utilizzata per integrare le informazioni in caso di perdita di GNSS, si baserà preferibilmente sulla tecnologia avanzata dei sistemi micro-elettromeccanici (MEMS), con compensazione della temperatura.

È richiesto una secondo esemplare di LOBMF con il suo ambiente di sviluppo e test da installare nel costruendo Centro Nazionale di Competenze GNSS di proprietà dell'ASI.

[RQ.26] ANTENNE GNSS – Sarà fornita almeno un'antenna omnidirezionali multifrequenza da collocare sul tetto della motrice. Un'ulteriore antenna sull'ultima carrozza potrà essere predisposta per il controllo di integrità se si esegue il controllo della lunghezza del convoglio ferroviario. Un sistema di doppia antenna può essere



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 48 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

implementato per il calcolo dell’assetto in aggiunta al dato della IMU. L’ antenna GNSS dovrà rispettare le seguenti caratteristiche generali:

- Larghezza di banda adeguata a ricevere segnali multicostellazione e multifrequenza
- Alto rapporto di ricezione fra il segnale RHCP e LHCP
- Ridotto PCV (Phase Centre Variation)
- Capacità di filtraggio delle interferenze fuori banda
- Bassa figura di rumore e alto guadagno

[RQ.27] SISTEMA DI AUGMENTATION FERROVIARIO- Il sistema di aumentazioni non fa parte della fornitura del progetto e deve essere messo a disposizione del progetto per lo sviluppo e le prove sul campo.

Per quanto riguarda le correzioni si useranno le reti di augmentation locale (DGNSS, (N)RTK) o PPP (PPP-RTK), perché la correzione basata solo su SBAS/EGNOS non è sempre sufficiente rispetto ai requisiti di livello di protezione di LOCF o disponibile, specialmente in ambienti di scarsa visibilità. Si veda p.es. [Jose´ Santa et al., 2006] in cui si ottengono valori di HPL compresi fra 5 e 15 metri con test dinamici nel Campus dell’Università di Murcia. Si vedano inoltre i risultati del progetto LOCOPROL che riportano 66% di disponibilità su 3000 Km di rete ferroviaria italiana [Bortolotto, M., Choquette, F. (2003), EGNOS trials on Italian high-speed tilting trains]. La soluzione EGNOS Data Access Service (EDAS) in questo senso mitiga il problema della visibilità. Si veda, però, anche [Pietro Salvatori et al., 2014] in cui viene comparato l’uso di correzioni differenziali EGNOS-EDAS con quello di “Augmentation & Integrity Monitoring Network (AIMN)” e si verifica che, in presenza di tunnel e cavalcavia, si hanno picchi in errori di posizione dovuti principalmente a multipath, laddove soluzioni EGNOS Only-mode possono accumulare 4 metri, mentre gli errori di posizione per solo modalità locale (TALS: Track Area Location Safety Server e RIMS) è delimitato tra [-2, 2] metri. In conclusione, la modalità di correzione locale (DGNSS, RTK o PPP-RTK) sarà la soluzione adottata per le correzioni grazie alla migliore accuratezza e migliore mitigazione degli outlier, anche in considerazione del fatto che EGNOS, per il momento, fornisce le sole correzioni differenziali per il servizio GPS L1 e LOCF è un sistema MC/MF.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 49 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

L'uso di SBAS EGNOS potrà essere considerato per le sole correzioni GPS solo in zone in cui siano indisponibili altri sistemi di correzione e per la segnalazione del canale difettoso.

Il formato dei dati di correzione sarà compatibile con il formato RTCM SC-104 v3 (NTRIP) e superiore (e RTCM SC-134 in fase di finalizzazione) in modalità OSR o SSR. Le correzioni e le informazioni di integrità saranno trasmesse su canale sicuro utilizzando possibilmente meccanismi di cifratura o autenticazione dei dati.

Il sistema con la risoluzione dell'ambiguità (AR) RTK o PPP-AR è preferito, ma poiché ci sono molte situazioni con gravi multiate o blocco del segnale blocco quando è difficile risolvere l'ambiguità, per esempio, sotto edifici urbani o nelle foreste, è anche accettabile una soluzione RTK o PPP con ambiguità flattening o basata su codice. Inoltre, il ricevitore GNSS deve essere in grado di rilevare il ciclo slip. Questo fenomeno è, infatti, comune in ambienti urbani e in movimento in cui i segnali GNSS sono comunemente ostruiti e riflessi, e deve essere rilevato e riparato.

Si veda la Nota Tecnica per la gestione dell'integrità a più livelli.

[RQ.28] PERIMETRO DELLA FORNITURA– Sarà fornito LOBMF con il modulo RAIM e LOCF con le due sottocomponenti LOCF-VB, LOCF-FP e RAIM.

L'interfaccia fra LOCF e il sistema di bordo [EVC] sarà sviluppata dal contraente o fornita con licenza d'uso se già sviluppata in altri progetti.

I sistemi di bordo (almeno EVC, EO), quelli di terra (GAD/TV) e relative interfacce su GSM-R con RBC saranno messi a disposizione per lo sviluppo e non sono oggetto di fornitura.

L'ambiente di simulazione sarà fornito al committente, eventualmente coperto da B-IPR.

[RQ.29] CSWAP –Considerando la necessità di imbarcare la strumentazione a bordo del veicolo, la ridotta complessità dello strumento in termini di Cost, Size, Weight, and Power (CSWaP) è considerata fattore di merito del progetto.

I requisiti di questo documento richiedono delle soluzioni di fascia alta.

A parità di prestazioni, la soluzione più sostenibile da un punto di vista dei costi potrà integrare una soluzione low-end per il Ricevitore GNSS e un sensore IMU di qualità customer-grade, con



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 50 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>l'aiuto dei sensori attualmente installati sui treni (tachimetri, radar Doppler e lettori di balise).</p> <p>La scelta finale della classe dei sensori è lasciata alla valutazione del contraente, che eseguirà un'opportuna valutazione in termini di costo e beneficio.</p>
Requisiti di validazione	<p>[RQ.30] PIANO VERIFICA E VALIDAZIONE- Dovranno essere selezionati metodi di test opportuni per la dimostrazione del TRL finale della soluzione sviluppata, in accordo con la normativa ECSS (e.g. test di laboratorio, test funzionali, etc.) e/o utilizzando le normative nazionali ed europee applicabili.</p> <p>Il documento deve presentare la campagna di test del ricevitore GNSS ferroviario LOBMF e definire i casi di test che copriranno come minimo i seguenti KPI:</p> <ul style="list-style-type: none">• scurezza di posizione (latitudine, longitudine) e velocità sia in condizioni statiche che dinamiche,• accuratezza del tempo,• tempo di (ri)acquisizione (warm e cold start),• sensibilità,• robustezza contro le interferenze (come minimo con controllo della precisione e disponibilità della posizione, TTF e tempo di ri-acquisizione valutati con vari tipi di interferenza quali CW, a banda stretta/ larga e con interferenza pulsata),• robustezza contro spoofing,• supporto RAIM con calcolo di FDE e PL,• disponibilità della soluzione PVT• disponibilità dei formati NMEA e RINEX. <p>Il contraente può proporre un tailoring dello standard ETSI applicabile.</p> <p>[RQ.31] TAILORING ECSS – Considerando gli standard ECSS, il piano di verifica e validazione dovrà essere formulato sulla base di opportuno tailoring dello stesso.</p> <p>[RQ.32] MODELLI – Sulla base del TRL obiettivo e coerentemente ad esso, dovranno essere definiti e realizzati i modelli e/o scenari opportuni per effettuare le attività di verifica della soluzione finale.</p> <p>[RQ.33] TIPO DI TEST – Il contraente dimostrerà la capacità del sistema nelle tre versioni previste tramite calcolo e simulazione. Il</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 51 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

sistema sarà anche provato sul tracciato ferroviario nelle due soluzioni previste (LOCF-VB e LOCF-FP).

[RQ.34] PROFILO DI MISSIONE PER TEST - Le caratteristiche dell'ambiente di test dovranno essere l'involuppo delle caratteristiche ambientali per cui la soluzione è progettata tenendo in considerazione la missione tipica. Una missione tipica include le seguenti fasi:

- Initialising
- Start rolling from standstill
- Acceleration
- Normal running (Drive with constant speed)
- Deceleration and target stop to standstill
- Standstill

Al fine di avere un profilo di missione significativo, si prenderà come riferimento il capitolo 10 “MISSION PROFILE AND RELATED ASSUMPTIONS” della norma SUBSET-091 aggiornato all'ultima versione disponibile nei due casi di “*High Speed Rail*” e “*Conventional Rail*”. Il contraente potrà proporre un adeguato tailoring della norma per lo scopo del progetto.

[RQ.35] ESECUZIONE DEI TEST – Le attività di test dovranno essere eseguite secondo quanto stabilito dal piano di verifica e validazione e della documentazione applicabile (i.e. procedure); il contraente assicurerà ad ASI la completa visibilità delle attività di test e dei suoi risultati (i.e. test report, post test analysis). I test prevedono una sessione in simulazione e una prova sul campo rappresentativa delle condizioni reali.

I test per la verifica del funzionamento di LOBMF saranno condotti sia per un percorso nominale che in presenza di errori, interferenze, falsificazioni del segnale e malfunzionamenti.

Si utilizzerà una VBR test interface per loggare i parametri rilevanti da confrontare con un ground truth, che sarà ottenuto con rilevanti con RTK (con accuratezza centimetrica) o altri sistemi equivalenti. LOCF sarà testato introducendo una serie di errori nell'ambiente simulato quali bias/step, rampa, sinusoidale, casuale gaussiano e sarà verificato sul campo tramite il calcolo del diagramma di Stanford e il calcolo della disponibilità delle soluzioni integre di LOBMF rispetto alla durata della missione (MA).

I requisiti di prestazione di LOBMF saranno verificati in ambienti fisici tipici compresi (l'elenco non deve essere considerato

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 52 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

esaustivo) tunnel, foreste, montagne, sotterranei. stazioni, e in presenza di masse metalliche intorno alla rotaia.

Sono possibili test per simulazione, con R&P e sul campo.

Nel caso di test sul campo, si utilizzerà un'interfaccia di test per la registrazione dei parametri pertinenti da confrontare con il riferimento.

Si prevede che il riferimento (ground truth) sia sviluppato attraverso survey basate p.es su posizionamento RTK, con precisione a livello di cm, sufficiente per la qualificazione di LOBMF.

[RQ.36] SIMULATORE – Il contraente simulerà le condizioni operative tipiche in laboratorio prima di eseguire le prove sul campo, simulando le costellazioni GNSS, la traiettoria e il canale di propagazione. Si suggerisce di usare il modello raccomandato da ITU-R P.681-11 per gli ambienti urbani. Il contraente proporrà soluzioni adeguate all'ambiente di simulazione da sottoporre all'approvazione di ASI. Possono essere soluzioni già sviluppate e messe a disposizione del progetto. Si veda anche [Frank M. Schubert,2018“INLU project and PIPE simulator”].

[RQ.37] TEST DI ACCURATEZZA DI LOBMF - Saranno misurati KPIs globali del servizio ferroviario quali:

- ATPE,
- Along-Track Protection Level (ATPL),
- VBLREB,
- posizione del fronte di TU,
- intervallo di confidenza della TU.

[RQ.38] VERIFICA DELLA DISPONIBILITA' DELLA SOLUZIONE PVT - Il requisito di disponibilità PVT, nel caso ferroviario è derivato dal requisito di indisponibilità generale del servizio rispetto al valore stipulato in [ERTMS USER GROUP, ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification Chapter 2, ovvero “The probability of having delay caused by ERTMS/ETCS failures shall be lower than 0,27 %”. Considerato che la durata della missione di riferimento ivi considerata è di 90 minuti, ciò porta ad un requisito di indisponibilità per il sistema ETCS di [0,18% /h ovvero $1,8 \cdot 10^{-3}$ /h] di cui un terzo potrà essere allocato a OBC e che potrà essere ulteriormente sub-allocato al sistema di localizzazione GNSS (FP o VB). Il calcolo della disponibilità della soluzione PVT sarà stimato in



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 53 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

modo analitico, statistico tramite simulazione iterativa e misurato sul campo in una missione tipica di 90 minuti.

Il contraente può proporre definizioni alternative all’assunzione di ASI presentando un’opportuna giustificazione.

[RQ.39] VERIFICA DELLA CAPACITA’ DI SELEZIONE DEL BINARIO – Sarà verificata la probabilità di corretta detezione del binario con LOC-FP nel caso di binari paralleli ravvicinati e scambi, secondo i requisiti di successo stabiliti dal contraente.

[RQ.40] TEST DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI PER LOCF-VB - I test di verifica delle prestazioni di LOCF-VB includeranno, inoltre, i seguenti KPI specifici:

- Delivery of correct sequence of virtual balises;
- Detected virtual balises versus number of virtual balises in train run;
- Number of virtual balise groups not detected within expectation window given by Linking Information;
- Error of detected virtual balise locations compared to actual virtual balise locations;



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 54 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Area disciplinare	b) Sistema di navigazione per la guida autonoma stradale
Contesto	<p>Per rispondere alle esigenze di maggiore efficienza e sicurezza, la ricerca e l'industria del settore automobilistico si sono dedicate negli ultimi anni allo sviluppo di veicoli automatizzati, connessi o autonomi per ottenere una guida più efficiente e più sicura. Sistemi altamente automatizzati fino alla guida autonoma e connessa (CAV, Connected and fully Automated or Autonomous Vehicles) sono i prossimi obiettivi della ricerca.</p> <p>Nel 2014, la Society of Automotive Engineers (SAE) International ha definito sei livelli di automazione di guida nel suo standard J3016. Questi sei livelli sono: no automation (level 0), driver assistance (level 1), partial automation (level 2), conditional automation (level 3), high automation (level 4), e full automation (level 5).</p> <p>SAE definisce il compito di guida il DDT (Dynamic Driving Task) e lo decompone in controllo del movimento longitudinale e laterale e nella detezione e risposta ad un evento (OEDR).</p> <p>Considerando la terminologia SAE, al livello 0,1 e 2 il DDT è sotto la responsabilità del guidatore anche se supportato da sistemi automatici. A partire dal livello 3 DDT è totalmente automatico ed è eseguito da ADS (Automatic Driving System).</p> <p>Per quanto riguarda l'automazione sempre più spinta degli autoveicoli richiesta da ADS (livelli SAE superiore a tre), i livelli necessari di accuratezza sono submetrici/centimetrici e quelli di integrità sono almeno due ordini di grandezza più impegnativi di quelli raggiunti nel settore dell'aviazione (6X10⁻⁸/h, ASIL-D).</p> <p>Nei veicoli automatici e autonomi i sistemi di bordo sostituiscono il conducente nel controllo del veicolo, comprese le operazioni di segnalazione, sterzata, accelerazione e frenata e devono fornire al veicolo informazioni in tempo reale sullo stato e posizione del veicolo e sulla zona circostante.</p> <p>Queste informazioni sono essenziali affinché il computer di bordo determini la curva di frenata per evitare collisioni con veicoli adiacenti e con persone o cose nelle vicinanze del veicolo. Più piccolo è l'intervallo di confidenza, più piccolo diventa il buffer di sicurezza intorno alla posizione corrente e alle posizioni previste del veicolo.</p> <p>Componente essenziale del sistema di navigazione è il sistema di percezione e localizzazione.</p>

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 55 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>Negli scenari di veicoli autonomi, automatizzati o connessi, gli attributi di alta precisione e alta integrità sono di fondamentale importanza per operare il veicolo autonomo, automatico o connesso in sicurezza anche in presenza di traffico intenso sulle singole corsie stradali.</p> <p>Numerose sono le iniziative di R&S nel settore. Si cita, per esempio, il programma europeo ERASMO (Enhanced Receiver for Autonomous Mobility). ERASMO è un progetto co-finanziato dall'Agenzia dell'Unione Europea per il Programma Spaziale (EUSPA) e dalla metà del 2021 mira a sviluppare un sistema di localizzazione (LS) incorporato in un'unità di posizionamento on-board (OBU) usando le migliori tecnologie ad oggi disponibili quali GNSS di tipo multi-constellazione, multi-frequenza, servizi ad alta accuratezza come PPP-RTK, IMU, e VINS in cui GNSS, SLAM e IMU sono fusi con mappe di precisione per generare la traiettoria e la mappa locale [Philippe Xu et al., 2023].</p>
<p>Obiettivi</p>	<p>Ci sono importanti sfide da superare per progettare un sistema di posizionamento efficiente per CAV.</p> <p>A partire dal livello 3 di automazione SAE e oltre, sono necessarie soluzioni di posizionamento assoluto GNSS ad alta precisione in tempo reale per ottenere la determinazione della posizione con o senza una rete di stazioni di correzioni locali.</p> <p>Si richiede la precisione a livello di carreggiata (decimetrica) per consentire le funzionalità di guida autonoma e la pianificazione del percorso con garanzia di integrità del sistema e della sicurezza della guida.</p> <p>Per compensare la possibile indisponibilità del GNSS in ambiente degradato, è indispensabile la fusione multisensore con sensori ad immagine quali, videocamere, RADAR e LiDAR e l'uso di mappe HD.</p> <p>Tale localizzatore si deve interfacciare con il software di base del veicolo autonomo/automatizzato che comprende generalmente anche le funzioni di percezione, pianificazione e controllo [Gustavo Velasco-Hernandez et al., 2020].</p> <p>In prospettiva, il sistema di controllo della guida autonoma riceverà i dati dal sistema di percezione (TSD, Traffic Signalization Detection e MOT, Moving Objects Detection and Tracking) basato sulla visione e dal localizzatore e potrà implementare gli schemi della percezione mediata, con analisi di una scena completa per prendere una decisione di guida.</p> <p>Potrà essere implementata anche la tecnica del comportamento riflesso che mappa direttamente l'immagine sull'azione di guida</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 56 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>ovvero si potrà utilizzare la percezione diretta che, come gli esseri umani, estrae alcuni indicatori chiave per decidere l'azione.</p> <p>Inoltre, gli algoritmi di AI potranno essere usati per la guida autonoma una volta certificati per l'uso.</p> <p>Per quanto riguarda l'integrità, a differenza del caso aeronautico, CAV e HAV (Highly Automated Vehicles) richiedono un numero di sensori diversi fusi fra loro per garantire il posizionamento anche in assenza del segnale GNSS in caso di edifici, alberi e altri ostacoli lungo il percorso (multisensor fusion).</p> <p>Conseguentemente devono essere sviluppati nuovi metodi per garantire l'integrità multi-sensore in un ambiente altamente dinamico che tengano conto sia della posa del veicolo sia degli errori di estrazione delle caratteristiche delle immagini e la loro associazione nei sensori ad immagine.</p> <p>Le condizioni dinamiche e il fatto che molti dei sensori di bordo, forniscono una posizione relativa rispetto all'istante precedente e non assoluta (Lidar, RADAR, videocamera) come GNSS, impongono, inoltre, un filtraggio temporale dei dati che può rendere complicato il calcolo dell'integrità se gli errori passati si propagano e le misure difettose non vengono tempestivamente rimosse.</p> <p>Mentre la quantificazione dell'integrità per GNSS e INS ha raggiunto ormai la sua maturità, la navigazione con garanzia di integrità che includa i sensori a immagine tipici a bordo di CAV/HAV è ancora materia di ricerca, tenuto conto che la tecnica di Odometria Visuale può divenire inaccurata rapidamente e generare un allarme di integrità o nel caso di ambiente indistinto e affetto da clutter.</p> <p>Questi problemi sono una minaccia costante per l'integrità della navigazione veicolare.</p> <p>Il progetto dell'integrità, in questo caso, dovrà modellare correttamente le misure e i guasti dei sensori di bordo, quantificare il loro rischio di integrità, realizzare i monitor di integrità del sistema multisensore e gli algoritmi di predizione del rischio di integrità in ambiente dinamico [M. Joerger, M. Spenkow, 2017].</p>
<p>Requisiti programmatici</p>	<p>[RQ.1] OBIETTIVO PROGRAMMATICO – L'obiettivo dell'attività è quella di identificare, realizzare e testare in ambiente rappresentativo soluzioni di posizionamento GNSS nei trasporti veicolari autonomi e automatici che, sfruttando tecnologie attuali, nuove e/o in fase di sviluppo, ne migliorino le prestazioni rispetto allo stato dell'arte, per la medesima classe di servizi, considerando che i requisiti relativi ai sistemi di determinazione della posizione del veicolo diventeranno sempre più rigorosi con l'aumento dell'automazione.</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 57 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>Le attività oggetto di questo bando consisteranno nella realizzazione di un localizzatore di bordo stradale (LOCBS) che assicuri l'alta accuratezza e integrità, integrando il sistema di posizionamento ad immagini e con l'ausilio anche di AI (Artificial Intelligence), per garantire un livello di automazione a partire dal livello 3 della norma SAE, al fine della realizzazione del sistema di posizionamento avanzato per i veicoli di tipo CAV/HAV (Highly Automated Vehicle).</p> <p>Il sistema di posizionamento integrato GNSS, applicato al dominio stradale, dovrà essere in grado di garantire il raggiungimento degli obiettivi per cui la soluzione è progettata velocizzando i processi, riducendo la tempistica, migliorando l'autonomia e ottimizzando in generale le prestazioni allo stato dell'arte.</p> <p>[RQ.2] DURATA DELLE ATTIVITA' – la durata massima delle attività è di mesi 24 dal KO.</p> <p>[RQ.3] ANALISI DEL RISCHIO - Il contraente condurrà l'analisi del rischio delle attività del progetto e proporrà le relative azioni di mitigazione.</p> <ul style="list-style-type: none">a. I rischi fondamentali sono dovuti all'introduzione del GNSS in ambito stradale e sono identificati in via preliminare come:<ul style="list-style-type: none">i. definire le prestazioni GNSS in ambito stradaleii. sviluppare metodi e strumenti in grado di effettuare le valutazioni delle prestazioni e del buon funzionamento del GNSS in un contesto operativo stradale.b. - valutare RAMS della soluzione di posizione GNSS del veicolo secondo gli standard di sicurezza stradale.
Requisiti tecnici	<p>[RQ.4] TRL - La soluzione proposta dovrà raggiungere, a fine progetto, il TRL 6. La certificazione del prodotto non rientra nel perimetro del progetto ma esso deve essere certification-ready.</p> <p>[RQ.5] NORMATIVA APPLICABILE – Le soluzioni tecniche dovranno essere progettate, sviluppate, realizzate e testate in aderenza alle normative nazionali ed europee di pertinenza; inoltre, dovranno essere presi come riferimento gli standard ECSS.</p> <p>[RQ.6] SAFETY - Gli aspetti di safety dovranno svolgersi in ottemperanza alle regole nazionali ed europee applicabili e secondo gli standard ECSS e stradali applicabili.</p> <p>[RQ.7] CONCETTO OPERATIVO – La soluzione tecnica proposta dovrà essere in linea con il proposto Concept of Operation.</p>

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 58 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.8] AFFIDABILITA' – La soluzione dovrà garantire affidabilità e robustezza superiore o comparabile rispetto a quella delle soluzioni allo stato dell'arte.

[RQ.9] ARCHITETTURA DI LOCBS - Da un punto di vista architettonale LOBMS si compone di:

- LOCS (Localizzatore Stradale)
- RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)

Per i dettagli implementativi dei due moduli e le tecniche di ML/DL si rimanda il contraente alla Nota Tecnica.

[RQ.10] SENSORI – Sarà compito del concorrente selezionare i sensori più adatti all'ambiente di uso, da affiancare al ricevitore GNSS e a IMU, che sono considerati indispensabili in un'architettura multi-sensore.

Si raccomanda di utilizzare il più possibile i sensori disponibili a bordo al fine di ridurre i costi di installazione ed esercizio.

Questi sensori includono videocamere mono/bioculari per:

- Collision avoidance
- Blind Spot Display
- Lane departure Warning

Inoltre, includono RADAR di tipo FMCW (frequency Modulated Continuous Wave) per:

- Target detection and tracking
- Adaptive Cruise Control (ACC)

Nel caso di specie di autoveicoli stradali si veda [Ryan Dixon et al., 2020], laddove si suggerisce di usare i sensori esistenti sul bus CAN (Controller Area Network) o similari, OBD II e sistemi operativi ROS o similari. Le auto moderne debbono includere per legge Antilock Braking Systems (ABS) e Dynamic Stability Control (DSC) e accedendo al bus dati ad alta velocità di un veicolo, si possono ricavare le informazioni di odometria differenziale e della velocità, gli angoli di sterzo del volante e l'accelerazione dal sistema DSC.

Si segnala, in particolare, che l'odometria estratta da DSC (ovvero Wheel Rate Sensor) risulta particolarmente efficace nell'aumentare l'accuratezza del posizionamento in zone di oscuramento e riduce i tempi di risoluzione dell'ambiguità in architettura tight [J.Gao, M.G. Petovello e M.E. Cannon, 2006]

Si segnalano, infine, i sensori LiDAR, che possono essere associati a landmark o ad una mappa HD per il posizionamento assoluto ovvero utilizzati in posizionamento relativo.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 59 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Nella Nota Tecnica si riportano le caratteristiche minime da rispettare dei sensori.

Per i sensori non citati sarà compito del contraente fornire le specifiche minime.

[RQ.11] ARCHITETTURA DI LOCS –Sulla scorta della Nota Tecnica ASI raccomanda di adottare un’architettura federata secondo le seguenti possibilità:

a) Soluzione federata robusta plug-and-play con due sezioni attive indipendenti capaci di fornire il posizionamento assoluto:

- Sezione propriocettiva: GNSS/AUG/INS/ODO e sensori di bordo [WSS (wheel speed sensor, odometro), normalmente associato a ABS o misure della velocità dell’albero di distribuzione, dai canali di acquisizione quali CAM o OBD II e misura dell’angolo di sterzo, normalmente associato a ESP (Electronic Stability Program)] con modello di veicolo (VM).
- Sezione esteroceettiva: VINS in modalità VO/LO o SLAM/LOAM e correzione della deriva spaziale con mappe HD o landmark geolocalizzati.

Le due sezioni sono federate in un filtro master.

Questa soluzione è scalabile per fase di missione ed è fault tolerant perché le due soluzioni sono entrambe in grado di fornire un posizionamento assoluto anche in assenza di una delle due.

N.B.1: L’uso del LIDAR è preferibile rispetto alla Videocamera o RADAR perché il sensore ha una migliore risoluzione.

N.B.2: L’uso dei sensori già a bordo del veicolo è fortemente raccomandato; inoltre, si raccomanda di integrare anche un modello di veicolo (VM). I vantaggi dell’utilizzo di un modello di veicolo accurato per sostituire/assistere l’unità di misura inerziale (IMU) per veicoli di terra sono illustrati in [Daniel C. Salmon e David M. Bevlly, 2014].

N.B. 3: In alternativa al filtro federato il contraente può proporre un filtro multisensore FGO dimostrando il beneficio della soluzione rispetto al filtro federato in termini di flessibilità, robustezza, carico computazionale e adattività alle diverse condizioni ambientali.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 60 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- b) Soluzione federata classica, costituita da INS in connessione parallela a GNSS/AUG, sensore a immagine (RADAR o LiDAR o videocamera) o altro sensore esteroceettivo e Odometro o altro sensore propriocettivo.

La soluzione di posizionamento implementa, inoltre, la tecnica MAL ovvero essa viene poi mappata su una mappa HD per aumentare la robustezza del posizionamento. Questa soluzione ha il vantaggio di lavorare alla massima frequenza (p.es. 100 Hz) in ingresso al filtro di fusione migliorando i tempi di risposta in ambiente dinamico.

- c) Soluzione adattiva costituita da una delle soluzioni precedenti ma con capacità di aggiornamento delle informazioni di ritorno nella variante FFR (si veda la Nota Tecnica per la trattazione dei filtri federati).

Nella soluzione a) a sezioni separate si può integrare in modo stretto nella stessa sezione visuale sia un LiDAR che un sensore ottico, ispirandosi a [Y. Yang and G. Huang, 2019], laddove si propone uno stimatore strettamente accoppiato tra l'INS e le caratteristiche dei punti e dei piani, utilizzando un sensore di visione insieme a un sensore di profondità generico. La videocamera può essere utilizzata per il rilevamento delle caratteristiche dei punti mentre il sensore di profondità viene utilizzato per l'estrazione del piano.

Il posizionamento assoluto MAL richiede mappe HD in 3D [Babak Ebrahimi Soorchaee et al., 2022] ottenute normalmente con LiDAR, per raggiungere l'accuratezza di circa 10 cm necessaria alle auto autonome.

Il filtro locale fra sensore visivo e INS sarà preferibilmente di tipo Multi-Constraint Kalman Filter (MSCKF), sviluppato da Mourikis e Roumeliotis [I. Mourikis and S. I. Roumeliotis, 2007], che aumenta il filtro di navigazione con l'inertiale con stati addizionali contenenti le pose di una serie di immagini con caratteristiche comuni che fungono da vincolo per gli stati della posa e della soluzione di navigazione. Questa soluzione migliora la stima della posa, non ha bisogno di una stima iniziale accurata della profondità e della covarianza e riduce la complessità.

Altri metodi di fusione sono riportati nella Nota Tecnica.

La deriva della misura di scala e della velocità longitudinale è compensata con la fusione con la misura dell'odometro estratta dal bus CAN e i vincoli NHC nel filtro master.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 61 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

La combinazione di VO, odometro e NHC ha dimostrato di fornire ottimi risultati anche in scenari sfidanti come quello invernale sia con scenari simulati (KITTI e/o KAIST o similari) [Andreas Geiger et al, 2012] che reali [Cheng Huan et al, 2020].

Costituirà titolo di merito addizionale per l’innovazione l’implementazione della tecnica di posizionamento 3D Mapping Aided (3DMA) secondo [Qiming Zhon, Paul D. Groves, 2022], laddove si combinano le tecniche di shadow matching (basata su C/n0) e 3DMA ranging (basata su pseudorange) e si dimostra che il filtro GNSS 3DMA riduce rispettivamente l'errore complessivo della soluzione di circa 50% e 40% rispetto al GNSS monoepoca e al GNSS convenzionale filtrato (Particle Filter o Grid Filter).

Nel caso di rover stradale, l’uso di sensori visuali è considerato necessario per aumentare la resilienza della soluzione di posizionamento propriocettiva veicolare e considerando che tali sensori saranno largamente usati nella sezione di percezione della guida autonoma.

Una combinazione esterolettiva di sensori visivi di tipo visivo stereo, RADAR e LiDAR appare come la soluzione consigliata per mitigare gli impatti ambientali.

Questi sensori, assieme alle mappe in HD, diventeranno, infatti, il principale sistema di percezione in supporto alla guida autonoma per le auto al livello 4 e 5 al fine di localizzare il veicolo in modo relativo, distinguere la segnaletica orizzontale e verticale, riconoscere e tracciare gli ostacoli, i pedoni e gli altri veicoli.

Si veda la sezione dedicata alla localizzazione visuale della Nota Tecnica.

[RQ.12] MODELLO DINAMICO –Per quanto riguarda il modello dinamico del veicolo si consulti [David M. Bevly Stewart Cobb, 2010] come linea guida.

ASI raccomanda un modello semplificato (i.e. bicycle model) con coordinate locali ENU secondo SAE, in cui l’angolo della direzione del percorso (course) è dato dalla somma dell’angolo di imbardata (yaw) rispetto al nord, come stimato dal GNSS e dall’angolo di scivolamento laterale (sideslip) dovuto alla componente trasversale di velocità indotta dalla mancanza di aderenza completa della gomma rispetto al tipo di fondo stradale.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 62 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Questa componente trasversale della velocità può essere trascurata in prima approssimazione cinematica.

Per mitigare questo ultimo problema si raccomanda di aggiungere lo slittamento longitudinale come rumore gaussiano bianco a media zero nella stima della velocità della ruota.

In conclusione, nel caso di assenza di side-slip, con riferimento all'integrazione di GNSS, Odometro e IMU, gli stati da stimare e necessari al controllo del veicolo, devono includere la posizione (N, E), yaw, bias (accelerometro e giroscopio) e la velocità.

Le misure includeranno la posizione, la velocità GNSS, yaw e la velocità della ruota.

Qualora si vogliano includere gli effetti dello scivolamento laterale, soprattutto nel caso di alte velocità e fondo scivoloso, il contraente può implementare il modello completo (4-wheel bicycle model) che tiene conto anche del rollio (con adeguato modello quale free body diagram (FBD)), include la componente trasversale della velocità su ogni ruota e usa il modello non lineare dello pneumatico (Pacejka, Fiala o Dugoff) per stimare precisamente la generazione delle forze longitudinali e laterali sullo pneumatico stesso.

A questo proposito si può consultare il modello dinamico completo del veicolo usato in [Yingjie Liu and Dawei Cu, 2022] con 7 DoF e modello dello pneumatico di Pacejka.

[RQ.13] REQUIRED NAVIGATION PERFORMANCE STRADALE (RNP) – Mutuando la definizione RNP dal settore aeronautico e in assenza di una definizione dei requisiti minimi di prestazione (MOPS) per CAV/HAV, si sono definiti i seguenti requisiti di accuratezza, integrità, disponibilità e continuità basandosi sul report di EUSPA/GSA della UCP, il riferimento [T. Reid, 2019] e gli studi del progetto Helmet.

Si applicano, quindi, i seguenti requisiti di prestazione per il trasporto stradale:

- Integrità: Il localizzatore sarà in grado di fornire un messaggio di integrità all'utente contenente gli allarmi di integrità e i livelli di protezione, secondo i seguenti parametri di progetto:
 - Rischio di integrità di **1x 10⁻⁸/hour** ($K_{inf}=7$ come calcolato da ASI rispetto a $K_{inf}=5,73$ stimato da



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 63 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>Reid) con classe ASIL-D secondo ISO 26262, corrispondente a SIL-3. Vedi l’apportionamento preliminare di [Tyler G. R. Reid, 2019] basato su dati storici americani.</p> <ul style="list-style-type: none">○ Alert limit orizzontale: 0,57 m laterale e 1,40 m longitudinale (autostrada); 1,50 gradi in ogni direzione○ Alert limit orizzontale: 0,29 m laterale e longitudinale (strada locale); 0,50 gradi in ogni direzione○ Alert limit verticale: 1,30 m verticale (autostrada) e 1,40 m (strada locale), calcolato per altezza minima delle strade sopraelevate americane di 4,4 m assumendo una percentuale massima di errore di circa 1/3. <ul style="list-style-type: none">● Accuratezza orizzontale (a due sigma), valori approssimati calcolati da Reid a partire da AL e rischio di integrità stabiliti precedentemente:<ul style="list-style-type: none">○ 0,20 m laterale e 0,48 m longitudinale (autostrada, corsia di 3,6 metri e velocità massima di 130 km/h); 0,51 gradi in ogni direzione○ 0,10 m laterale e longitudinale (strada locale, corsia di 3,0 metri con minima curvatura di 20 metri ovvero corsia di 3,3 metri, con minima curvatura di 10 metri); 0,17 gradi in ogni direzione○ 0,44 m verticale (autostrada) e 0.48 m (strada locale)● TTA: massimo 1 secondo. TTA deve essere sincronizzato con la frequenza di rinfresco dello stato ed include nel caso peggiore il tempo di campionamento e la latenza per il computo RAIM. Il TTA deve essere inferiore al tempo di reazione massimo consentito per attivare il freno quando il veicolo precedente effettua un arresto di emergenza. Si consideri come caso dimensionante un veicolo su autostrada a 130 Km/h con sistema di rilevamento LiDAR con portata di 100 metri e coefficiente di attrito 0,7 (0.14 sec, vedi lo studio Helmet).● Disponibilità: migliore del 99,9%.
--	---

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 64 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- Continuità: rischio di continuità compreso fra $1 \times 10^{-4}/h$ e $1 \times 10^{-8}/h$ per ogni grado di libertà.
- Accuratezza temporale < 1 microsec (2 sigma)
- Latenza. il localizzatore GNSS nel caso stradale deve avere una latenza massima è di 10 msec. Questo risultato è raggiungibile nel caso di sistemi che fondono GNSS e IMU, in quanto IMU esibisce frequenze di lavoro superiori a 100 Hz. Nel caso di SLAM con posa assoluta la latenza tipica sale a 150 msec e questo valore indica che questo tipo di sistema non può essere usato come sistema di posizionamento di riferimento per applicazioni stradali ma piuttosto come sistema complementare di posizionamento. Questo valore deve essere considerato nel computo totale della latenza massima del sistema di controllo del veicolo autonomo, ovvero il tempo fra uscita del sensore e uscita dell’attuatore [valore tipico medio di 300 msec, TUM J.Betz, et al., 2022].
- Frequenza di campionamento: almeno 100Hz come nel caso di TUM [Betz et al., 2022] (consigliata 200Hz). Considerando la velocità massima di 130 Km/h sulle autostrade la frequenza ottimale di aggiornamento del dato all’uscita del filtro di fusione deve essere di 200 Hz, poiché in questo caso avremmo un errore trascurabile di 0,17 m (12% circa) rispetto al AL di 1,40 m.

La frequenza di rinfresco del messaggio di stato può essere anche impostata in modo adattivo in un intervallo compreso fra 1 Hz e 200Hz, per garantire i requisiti di accuratezza (ovvero un errore massimo di circa il 10% rispetto al AL) alla velocità di crociera e ridurre contemporaneamente il carico computazionale del filtro multisensore.

I valori di accuratezza e integrità sono basati sullo studio di T. Reid che tiene conto del modello di veicolo, del vincolo di ingombro in curva e della larghezza della carreggiata. Si sono considerate larghezze tipiche della carreggiata di 3,6 metri (autostrada) e 3,0-3,3 metri (locali) e raggio di curvatura minimo di 20 e 10 m.

Per quanto riguarda la velocità, la sua stima può essere ottenuta dalle misure GNSS, della IMU ovvero differenziando l'uscita di un odometro, come gli encoder rotativi o i sensori ad effetto Hall. Si nota che il tasso di aggiornamento della misura è in genere



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 65 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

sufficiente per la navigazione, anche se l'uscita può essere rumorosa a causa della differenziazione di un segnale quantizzato. Inoltre, le modifiche nel raggio della ruota o lo slittamento longitudinale della ruota possono corrompere le misure della velocità.

La soluzione migliore è una fusione multisensore e deve rispettare la prescrizione normativa [UN Addendum 38 – Regulation No.39 Revision 2 from 2018] sulla stima della velocità del veicolo.

Essa impone che la velocità indicata non deve mai essere inferiore alla velocità effettiva e non deve essere mai superiore al 110 per cento della vera velocità più 6 km/h alle velocità di prova specificate per i veicoli di categoria M e N.

Tutti i requisiti RNP sono da confermare dal contraente.

[RQ.14] MONITORAGGIO DELL'INTEGRITA' DELLA VELOCITA'- I ricevitori multisensore GNSS sono utilizzati per fornire sia i dati di posizione che di velocità del veicolo. Il controllo della velocità è importante negli autoveicoli e nelle applicazioni ITS, perché il rispetto dei limiti di velocità ha conseguenze giuridiche o economiche.

Si richiede quindi un controllo di integrità in entrambi i domini della posizione e della velocità [H. Beckmann et al.,2014] e [Tareq Binjammaz et al.,2013].

Nel caso di superamento delle soglie di integrità verrà inviato un messaggio di allerta al conducente segnalando che la posizione è inaffidabile.

Nel controllare l'integrità della velocità bisogna tener conto che il valore degli errori di velocità di ciascun campione di velocità è sconosciuto. Tuttavia, si può utilizzare la tecnica in [Tom Chalko, 2009] in cui i valori di diluizione della velocità SDOP possono essere utilizzati per stimare l'errore di velocità massimo ammissibile (MASE) per un numero N di misure di velocità Doppler. Dopo aver calcolato il MASE e l'errore di velocità, l'integrità dell'errore di velocità deve essere identificata confrontando il MASE con l'errore standard σ . Se MASE supera di tre volte e mezzo il sigma, il livello di confidenza dell'errore della velocità media è almeno del 99,99% [ovvero il rischio di integrità è inferiore a $1 \cdot 10^{-2} / (10 \text{ sec})$ con $K(\text{infl})=3,29$] e la velocità media calcolata è ritenuta accurata.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 66 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p><i>Questo valore del rischio di integrità è proposto da ASI sulla base della letteratura disponibile e sarà compito del contraente confermare o modificare il requisito sulla base delle simulazioni e verifiche sul campo al fine di soddisfare il dettato normativo riportato nel requisito RNP.</i></p>
Requisiti di innovazione	<p>[RQ.15] BENEFICI – I benefici introdotti dalla soluzione dovranno essere misurabili in relazione al contesto in cui sono applicati.</p> <p>[RQ.16] EVOLUZIONE DELLA SOLUZIONE – la soluzione deve assicurare indipendenza nazionale ed europea, eccellenza ed eventuale unicità dal punto di vista scientifico, tecnologico, applicativo e di servizi; le prospettive di ritorno industriale saranno oggetto di valutazione.</p> <p>[RQ.17] INNOVAZIONE – il contenuto di innovazione deve essere identificato e garantito in termini di algoritmi di processamento, decision making e monitoring processes e/o architetture realizzative efficaci e/o approcci innovativi di V&V al fine di ottenere benefici per tecnologia/applicazioni/servizi nei settori tecnologici presi a riferimento, rispetto allo stato dell’arte.</p> <p>[RQ.18] GUIDA, NAVIGAZIONE E CONTROLLO (GNC) – Sarà considerato titolo di merito di innovazione la realizzazione del sistema di bordo necessario alla guida autonoma di livello 3 o superiore.</p> <p>Considerando le architetture dei vincitori di DGC [2005] e DUC [2007], quella di BRAiVE [2013] e quelle recenti dei vincitori della Indy Autonomous Challenge del 2021 [IAC], [TUM, J. Betz 2022] e della Autonomous Challenge del CES del 2022 [AC@CES], [PoliMOVE team white paper, 2023] si può concludere che il sistema di bordo oggetto di questo bando risponde al classico paradigma di guida autonoma ed è costituito dalle funzioni di Guida, Navigazione, Controllo e Supervisione [Dominique Gruyer et al., 2017].</p> <p>Un esempio completo di guida autonoma si può trovare, inoltre, in [B.Kim et al., 2016], dove si illustra la realizzazione di un sistema di guida autonomo che localizza il veicolo, percepisce e geolocalizza l’ambiente circostante, stima il corridoio di guida eseguendo MOT e riconoscendo gli oggetti fissi circostanti e ottimizza il movimento con MPC.</p> <p>Si consideri che il progetto Junior ha funzionato con trenta processi separati. Il sistema di guida autonoma rispetterà, dunque, il</p>

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 67 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

principio della modularità e i sistemi di cui sopra (percezione, localizzazione, pianificazione, attuazione e supervisione) saranno funzionalmente totalmente separati fra di loro e organizzati in una serie di processi indipendenti.

La massima latenza end-to-end del sistema di guida autonoma, dal momento di acquisizione del dato di percezione all’attuazione da parte del veicolo, sarà al massimo di 300 ms di cui 100 ms sono assegnati al pianificatore libero (si veda Junior, Michael Montemerlo et al., 2008).

Di seguito vengono illustrati i principi a cui deve attenersi il contraente nel progetto del GNC.

[RQ.19] GUIDA – Il processo di guida di un veicolo autonomo è costituito da un pianificatore gerarchicamente suddiviso in almeno tre diverse componenti; si consulti [Brian Paden et al, 2016] e costituisce il cuore della gestione del veicolo autonomo. Esso si compone di:

- Pianificazione generale del percorso [Sistema di pianificazione a lungo termine, Route/Mission Planning]. Esso calcola il percorso sulla mappa stradale per raggiungere l'obiettivo finale. Deve selezionare un percorso generale attraverso la rete stradale dalla sua posizione corrente alla destinazione richiesta, trovando il percorso dal costo minimo nel grafo della rete stradale. In caso di strada bloccata deve ripianificare verso un nuovo punto di controllo. Algoritmi classici come come Dijkstra o A* possono essere efficaci per percorsi brevi, ma esistono metodi più avanzati per migliorare l'efficienza su grandi distanze. Si veda p.es. [H. Bast, et al., 2015]. Junior usa l’algoritmo DP (Dynamic Programming, Howard 1960) che controlla il costo cumulativo del percorso basato sulla durata e sul rischio di alcune manovre. La mappa stradale deve essere ad alta definizione; si può produrre la mappa con un rilievo fatto precedentemente ovvero si può seguire l’esempio di BRAiVE nella campagna PROUD, laddove si usano mappe del "Progetto Open Street Map". A partire da queste. mappe, è stata, poi, creata una “Road Junction Map”, che è rappresentata da un grafico in cui ogni segmento è un tratto di strada e ogni nodo rappresenta una diramazione tra due o più strade. [Risultato: rotta generale, basso tasso di aggiornamento].
- Processo decisionale comportamentale [Behavioral plannig, Decision Making].

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 68 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Dopo aver trovato un percorso generale, il veicolo autonomo deve pianificare delle manovre per essere in grado di navigare lungo il percorso selezionato e interagire con le altre vetture nel traffico in base alle convenzioni di guida, alle condizioni della strada, alla segnaletica e alle altre regole del codice della strada. Generalmente ogni comportamento è modellato come uno stato di una macchina a stati finiti con transizioni governate dal contesto percepito.

Le azioni prodotte possono essere del tipo: continuare nella stessa corsia, fare un’inversione ad u, mantenere la distanza in fila, cambiare corsia, girare in una certa direzione, gestire le precedenze in un incrocio, evitare un ostacolo o un pedone, arrestarsi o dare la precedenza facendo previsioni sul comportamento futuro di auto, altri mezzi di trasporto e pedoni con una pianificazione di tipo probabilistico.

Per ogni macro-azione, viene generata una sequenza di posizioni obiettivo a breve termine lungo la strada con associati obiettivi di velocità e accelerazione/decelerazione.

Tecniche possibili includono GMM, Gaussian process regression, Markov e Decision Process. Si veda p.es. [Heejin Ahn et al., 2018].

Viene normalmente implementata tramite una macchina a stati finiti (FSM) in cui la transizione fra stati risponde a due regole fondamentali:

- verifica se le regole di guida nella posizione attuale consentirebbe di avanzare,
- controllo del "tempo di collisione" più breve. tempo entro il quale un ostacolo rilevato potrebbe entrare in una regione designata di interesse

[Risultato: manovra, alto tasso di aggiornamento].

- Il sistema di pianificazione locale [Motion Planning, Generazione delle possibili traiettorie ed estrazione del percorso locale ottimale]. Una volta individuato il tipo di comportamento da seguire questo deve essere tradotto in un percorso locale dinamico che sia confortevole per il passeggero ed eviti collisioni con gli ostacoli rilevati dal sistema di percezione.

Per gestire il raggiungimento dell’obiettivo a breve termine viene costruita una mappa di possibile guida (drivability map o



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 69 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

traversability map secondo BRAiVE) costruita utilizzando dati percettivi filtrati dai vincoli attuali specificati dal navigatore.

La mappa di guidabilità è basata sui dati percettivi, e risponde alle domande dal pianificatore del movimento sulla validità di potenziali percorsi di movimento.

Il pianificatore del movimento (motion planner) identifica fra tutte le possibilità una traiettoria cinematica del veicolo cinematica fattibile verso il punto obiettivo selezionato dal navigatore, ottimizzando il percorso e usando i vincoli dati dalla conoscenza situazionale contenuta nella mappa di guidabilità.

Il problema della generazione di traiettorie per un veicolo autonomo può essere risolto con molteplici tecniche.

Esistono varie categorie generali di approcci per scegliere la traiettoria ottima:

(1) Metodi di ricerca del grafo. Essi eseguono una pianificazione combinatoria con ricerca del grafo e costruiscono una rappresentazione discreta che rappresenta esattamente il problema originale (p.es. griglia spazio-temporale), La tecnica è stata usata con successo in DGC e DUC. Alcuni esempi includono Dijkstra, A*, D*, D* Lite, Fast Matching (FM), Level Set Method (LSM), Linear Temporal Logic (LTL), Markov Decision Processes (MDP), Mixed Observability Markov Decision Processes (MOMDP).

(2) Metodi di ricerca ad albero. Eseguono una pianificazione basata sul campionamento casuale dello spazio e generazione di un albero di decisione, che utilizza un modulo di controllo delle collisioni per condurre una ricerca discreta su campioni prelevati dallo spazio di configurazione per garantire la completezza probabilistica [Probabilistic RoadMaps (PRM), Rapidly-exploring Random Trees (RRT) o varianti ottime asintoticamente PRM* and RRT*].

(3) Algoritmi intelligenti. Mentre i metodi deterministici di solito possono trovare il percorso ottimale essi assumono che le informazioni globali considerate siano sempre disponibili. Tuttavia, in realtà, è difficile ottenere un'informazione globale completa ovvero essa cambia in modo dinamico. Si possono, quindi, usare intelligenti quali GA (Genetic Algorithm), PSO (Particle Swarm Optimization), QPSO (Quantum-behaved particle swarm optimization), ACO (Ant Colony Optimization), Wolf Pack Algorithm (WPA), Simulated Annealing Algorithm



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 70 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

(SA), Differential Evolution (DE), Artificial Neural Network (ANN). Essi sono algoritmi robusti, pratici in problemi con alta dimensionalità, ma possono essere lenti nel convergere ovvero convergere ad una soluzione non ottimale entro un tempo finito.

(3) Altri, a discrezione del contraente.

Per un confronto fra le due tecniche si veda p.es. [Christos Katrakazas et al., 2015].

[Risultato: percorso locale, alto tasso di aggiornamento].

Il contraente proporrà le tecniche di pianificazione che ritiene più adatte per la pianificazione di missione globale e locale.

Sarà, inoltre, compito del contraente scegliere l'algoritmo migliore del pianificatore di manovra e studiare la macchina a stati finiti del pianificatore di manovra più adatta al progetto commisurata alla complessità di guida che si vuole raggiungere.

Si ricorda che nel caso di Junior, il pianificatore di manovra utilizza una macchina a stati finiti (FSM) con tredici stati tra cui lo stato iniziale in cui il veicolo stima la sua posizione iniziale, lo stato di marcia normale in cui viene mantenuta la corsia e si evitano gli ostacoli, gestione incroci, inversione a U, parcheggio, pianificatore libero, emergenza, fine missione.

In ogni caso la FSM deve includere, come minimo i seguenti stati:

- Stato iniziale
- Marcia Normale (con mantenimento della corsia, aggiramento degli ostacoli e aggiustamento della velocità in funzione del veicolo che precede)
- Sorpasso
- Emergenza con pianificatore libero
- Fine missione

[RQ.20] NAVIGAZIONE – La funzione di navigazione si compone dei seguenti moduli:

- il sistema di localizzazione del veicolo. Esso calcola la posa del veicolo e gli altri parametri di egomotion e di georeferenziazione dell'ambiente circostante. Esso include correzioni in tempo reale di tipo DGNSS, RTK o PPP e la fusione multisensore. N.B. BRAiVE usa tre MEMS, odometro e un filtro di fusione di tipo sigma-point.

Qualora la precisione del GNSS sia ritenuta insufficiente per guidare in modo sicuro ed efficiente il veicolo, verrà implementato un approccio alternativo che sfrutta i sensori ad immagine (vedi



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 71 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

architettura di LOCS) e la mappa digitale del percorso. In questo caso il posizionamento può essere ottenuto anche con scarsa accuratezza del GNSS o in caso di suo possibile oscuramento anche parziale, come fatto da Junior, laddove la registrazione fra ambiente locale e mappa digitale è ottenuta sfruttando le informazioni di riflettività della strada e della banchina per stimare l'errore laterale. Si consideri Talos del MIT, che ha partecipato al DARPA Urban Challenge (2007) [John Leonard et al., 2008]. Nel caso del progetto Talos il modulo di posizionamento stima l'egomotion del veicolo (posizione, velocità, accelerazione, orientamento e velocità angolare) nel riferimento locale e poi esegue la trasformazione nella coordinata globale tramite il GPS.

Questo modulo è fondamentale perché fornisce i dati di posizione assoluta necessari alla correzione dei valori di egomotion locale e necessari alla pianificazione del percorso.

Si veda anche [Dominique Gruyer et al., 2015] in cui si propone un sistema di localizzazione che fonde i dati GNSS, INS, Odometro e un sistema di rilevamento delle linee di corsia associato con una mappa della strada.

Infine, si veda [Dixiao Cui et al., 2014], [Soren Kammel and Benjamin Pitzer, 2018] e [Yanlei Gu et al., 2016] in cui si usa un approccio simile di posizionamento visuale in sostituzione o in congiunzione con il GNSS.

Se neanche questo sistema è di aiuto, si può ricorrere ad un posizionamento di tipo SLAM (p.es. Graph SLAM), specialmente nel caso di prove su circuito in cui si ripercorra lo stesso percorso molte volte e quindi si possa ridurre la deriva di accuratezza dell'algoritmo con chiusura del loop.

- il sistema di percezione. Esso esegue la mappatura dell'ambiente circostante con sensori visivi, ultrasuoni e radar (normalmente RVL: RADAR, Visione e LiDAR).

Il sistema di percezione è il sistema più complesso e costoso di un'auto autonoma. Una descrizione generale dell'approccio alla percezione per auto autonome si trova in [Drew Pendleton et al., 2017] e [Dominique Gruyer et al., 2017].

Tale sistema di percezione include le interfacce con i sensori e si basa sulla fusione di più sensori.

La fusione può essere ottenuta nelle modalità centralizzata, decentralizzata o mista [Dominique Gruyer et al., 2017].



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 72 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Il sistema genera un modello dell’ambiente locale georeferenziato in cui si muove il veicolo tenendo conto della posizione corrente e futura degli altri veicoli e degli ostacoli (p.es con una griglia di celle spaziate in modo regolare, ottenute con misure multiple con accumulazione dell’evidenza in modo Bayesiano).

Tale modello della strada sarà il più rappresentativo possibile della realtà ovvero ne descriverà la forma (il numero di corsie, larghezze della corsia e geometria) e le norme associate che disciplinano la guida su tale strada (direzione di marcia, segnaletica orizzontale, stop, ecc.).

Eventuali strade non percorribili perché bloccate saranno individuate.

Si consideri Boss [Dave Ferguson et al., 2008], che ha vinto la DUC. In questo caso, l’obiettivo di questo modulo è di generare una “Local Dynamic Perception MAP” (LDPM) seconda la terminologia di [Dominique Gruyer et al., 2017]. LPDM può includere anche il riconoscimento della segnaletica. LPDM consiste principalmente di due strati: uno semantico/geometrico e uno strato di localizzazione. Il semantico/geometrico contiene la geometria della carreggiata e le informazioni semantiche di alto livello, come la connettività della corsia necessarie per la pianificazione del percorso e il processo decisionale. Il livello di localizzazione contiene i dati necessari per la localizzazione del veicolo (vedi il progetto Boss).

Elemento essenziale del sistema di percezione è il MODPT (Moving Object Detection Prediction and Tracking) che consente di rilevare, prevedere gli obiettivi mobili. Esistono metodi consolidati per il rilevamento degli oggetti (p.es. Yolo v3, SVM, CNN) e il suo tracciamento (p.es. SIRF, SURF, Mean Shift).

Nel caso di Multi-Targets Tracking il contraente dovrà scegliere la tecnica più adatta [MHT (Multi-Hypotheses Tracking), JPDAF (Probabilistic Data Association Filter), particle filter, CPHD (Cardinalized Probability Hypothesis Density), GMCPHD (Gaussian Mixture Cardinalized Probability Hypothesis Density e belief theory) e si rimanda alla letteratura specifica.

Per completezza di informazione si osserva che, nel caso di veicoli autonomi che impegnano un circuito, ha senso aggiungere ai metodi classici di percezione/pianificazione tecniche data-driven (p.e.s DNN e RL combinati con MPC) perché l’obiettivo da raggiungere è chiaro (giro più veloce), esiste un percorso chiaro e



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 73 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

una sola classe di oggetti e quindi si possono addestrare tecniche di ML per guidare velocemente e sorpassare le altre auto.

Anche nel caso della percezione con LiDAR e Videocamera i metodi di riconoscimento degli oggetti con Deep Learning possono affiancare i metodi geometrici di riconoscimento.

Il sistema di percezione tipico generale (p.es. BRAiVE) è in grado di gestire cinque tipi di percezione:

- ostacoli (mobili e fissi),
- corsie,
- barriere (guardrail, jersey, banchina...),
- semafori,
- segnaletica.

Esempi dei sistemi di percezione per il rilevamento e tracciamento di obiettivi statici e mobili (altri veicoli e pedoni) in 3D, la mappatura del terreno e riconoscimento della segnaletica orizzontale e verticale si trovano in [Xiaozhi Chen et al., 2017], [Xiao Hu et al., 2014] e [Leandro D’Orazio et al., 2018].

Per il rilevamento dei bordi della corsia e della linea di carreggiata e la registrazione con la mappa digitale si veda la sezione di localizzazione.

Si cita come esempio [Jesse Levinson et al. 2011 (Junior evolution)] laddove si implementa un MODT (Moving Object Detection and Tracking) capace di identificare veicoli, biciclette e pedoni tramite segmentazione da immagine LiDAR e tracciatura con un filtro di Kalman con accuratezza riferita del 98%.

Per un sistema completo di riconoscimento con visione stereo degli ostacoli e della linea di mezzera e relativo ambiente di sviluppo si può far riferimento al tool di VisLab chiamato GOLD (General Obstacle and Lane Detector).

Nel caso di Boss, il progetto ha integrato una combinazione di 17 diversi sensori (una miscela di LiDAR, RADAR e GPS). In questo progetto, il numero e tipologia dei sensori nonché gli algoritmi di riconoscimento saranno definiti dal contraente fermo restando che il veicolo deve come minimo riconoscere le linee di corsia, riconoscere gli ostacoli fissi ed eseguire il MODT degli ostacoli mobili.

Si raccomanda che la maggior parte delle aree del veicolo siano osservate da almeno due sensori con diversi principi di misura, in particolare il fronte e il retro per aumentare la robustezza del sistema di percezione. La qualità della proposta è proporzionale alla



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 74 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

robustezza, verosimiglianza e dettaglio della mappa locale di percezione generata.

[RQ.21] CONTROLLO – Il sistema di attuazione e controllo eseguire le intenzioni pianificate dal pianificatore di movimento fornendo gli input necessari al livello hardware che genera i movimenti desiderati. L'attuatore mappa l'interazione nel mondo reale in termini di forze ed energia, mentre la navigazione cognitiva e gli algoritmi di pianificazione sono di solito interessati alla velocità e alla posizione del veicolo rispetto al suo ambiente. Questo modulo esegue le seguenti operazioni [funzione con alto tasso di aggiornamento]:

- Riceve il piano di movimento che consiste in un elenco ordinato di waypoint (posizione, velocità, assetto) e servono per il comando dello sterzo e per impostare l'associata velocità di riferimento.
- Attua il controllo
- Traccia la traiettoria risultante dal comando

Le misurazioni all'interno del sistema di controllo possono essere utilizzate per determinare il comportamento del sistema e quindi il controllore può reagire per mitigare i disturbi e modificare la dinamica del sistema per raggiungere lo stato desiderato.

L'attuatore utilizza in ingresso il valore dell'angolo di direzione e la velocità longitudinale obiettivo calcolati dal pianificatore di controllo e genera i comandi per l'acceleratore, lo sterzo e cambio di marcia (collettivamente indicati come i segnali di controllo) per seguire il piano di movimento desiderato.

Per quanto riguarda gli algoritmi di attuazione del veicolo si consulti [David M. Bevly Stewart Cobb, 2010].

A titolo esemplificativo, si consideri il modello di Ackermann per un veicolo a quattro ruote dotato di sterzo e si assuma che l'acceleratore, il freno e il volante del veicolo siano azionati utilizzando motori CC (con prefissata costante di tempo e guadagno) dove l'ingresso è la tensione applicata al motore, utilizzando un modello lineare del primo ordine.

Normalmente si considerano due sezioni separate; una per il controllo dello sterzo (a velocità longitudinale costante e considerando l'angolo di sterzo iniziale) e una per il controllo della velocità longitudinale.

Sono possibili vari metodi di controllo e attuazione.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 75 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Dapprima si considerino i metodi basati su classici controllori a cascata (a controreazione semplice o a due gradi di libertà). Nel caso del controllo della velocità longitudinale si possono usare due modelli separati per accelerazione e freno a partire dalla velocità corrente.

Si considerino poi i metodi geometrici, e in particolare la tecnica dell'inseguimento puro “Pure Pursuit Algorithm” (R. C. Coulter, “Implementation of the pure pursuit path tracking algorithm,” 1992) accoppiato con il rilevamento degli ostacoli.

Questa è probabilmente la tecnica più comune e uno dei metodi di tracciamento dei percorsi geometrici più robusti e affidabili attualmente disponibili. Questo approccio e i suoi adattamenti sono stati impiegati in molte applicazioni di navigazione, compresi alcuni dei veicoli che hanno partecipato a competizioni sponsorizzate dalla DARPA. Ovvero una combinazione dei due, come nel caso di Talos, dove il controllore ha due componenti: un controllore di sterzo a inseguimento puro e un controllore di velocità di tipo Proportional-Integral-Derivative (PID).

Da notare che questi due moduli principali sono incorporati sia nel controllore di esecuzione che all'interno del motion planner per la previsione delle possibili traiettorie tra cui scegliere la traiettoria migliore.

Si segnala, anche, [Joaquín Lòpez et al., 2021], laddove viene implementato il metodo (CVM-Car) che tiene conto della forma del veicolo e NHC ed è basato sull’algoritmo “Pure Pursuit” e il metodo “Curvature Velocity Method” (CVM), che è un’evoluzione del BCM (Beam Curvature Method). Si dimostra qui che il primo passo produce il riferimento di curvatura per rimanere nella corsia indipendentemente dagli ostacoli e successivamente il riferimento di curvatura è l’obiettivo di riferimento per il secondo passo che gestisce l’aggiramento degli ostacoli durante il movimento nella corsia. Il risultato finale è una traiettoria locale libera da ostacoli su cui selezionare il punto di riferimento per le correzioni.

Inoltre, si segnalano i metodi basati su modelli dinamici. Negli ultimi anni sono state presentate diverse soluzioni in questo senso basate sul “Model Predictive Control” (MPC) nelle sue varie varianti, quali:



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 76 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- Path Tracking Model Predictive Controller
- Unconstrained MPC with Kinematic Model
- MPC Trajectory Controller with Dynamic Car Model

Si veda, a questo proposito, p.es. [Rien Quirynen et al., 2020], laddove è proposto un framework integrato di un motion planner basato su filtro particellare in combinazione con un algoritmo di tracking della traiettoria utilizzando il controllo predittivo del modello non lineare (NMPC). L'algoritmo di planning del movimento calcola una traiettoria di riferimento da tracciare e le corrispondenti matrici di covarianza, che vengono utilizzate per regolare automaticamente la funzione di costo del tracciamento variabile nel tempo utilizzata nella formulazione NMPC.

Un altro esempio di MPC si ritrova in [Julia Nilsson et al., 2014].

Si veda, anche, [Xiaohui Li et al., 2015] che si occupa di integrare il progetto di traiettoria locale nella pianificazione e nel controllo della traiettoria e [Jesse Levinson et al., 2011 (Junior)] laddove la pianificazione del controllo si ottiene impiegando una miscela di un modello di controllo predittivo (MPC) sulla base di un modello fisico del veicolo, insieme al controllo di tipo “feedforward proportional integral derivative (PID)” per le attività di controllo in controeazione di livello inferiore come la coppia da applicare alla ruota per ottenere l'angolo desiderato.

Infine, recentemente sono sorte nuove tecniche per i veicoli robotici che trattano la presenza di complessi disturbi esterni e le incertezze dei modelli. Di seguito si citano i più rilevanti:

- a. Controllo di tipo fuzzy. Contro le incertezze del sistema e disturbi sconosciuti (vento, onde correnti e così via), l'approccio di progettazione di controllo fuzzy-based è stato ampiamente utilizzato dando una serie di risultati eccellenti.
- b. Reti neurali. Le reti neurali hanno un'eccellente abilità di approssimazione dell'ambiente con reti neurali radiali, reti neurali multistrato e reti neurali convoluzionali.
- c. Altri, come proposto dal contraente.

Si consulti [Brian Paden et al, 2016] per altre linee guida.

Il contraente proporrà le tecniche di controllo ritenute più adatte.

I requisiti di prestazione tipici possono essere estratti dal progetto Alice [Lars B. Cremean et al.,2006], laddove gli obiettivi per l'accuratezza erano massimo 10% per il tracciamento della velocità



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 77 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

e ± 20 cm per l'errore perpendicolare alla velocità di 5 m/s, con errori di posizione maggiori a velocità più elevate.

[RQ.22] SUPERVISIONE –Il sistema di supervisione consente di visualizzare i dati del veicolo e la traiettoria (p.es. la posa del veicolo, egomotion, i piani di movimento e i veicoli tracciati). Contiene un'interfaccia MMI per il caricamento della missione, il suo avvio o l'arresto. Il sistema ha, inoltre, un data-logger che raccoglie i dati di missione per le analisi post-missione e in particolare per consentire il calcolo della statistica dello scostamento laterale rispetto al ground truth e del profilo di velocità longitudinale. Include, infine, il sistema di sicurezza con recupero manuale del controllo dei comandi sia in locale che da remoto.

[RQ.23] SCENARIO OPERATIVO – Il contraente stabilirà lo scenario di utilizzo selezionato. Lo scenario prescelto sarà specificato in base ai seguenti attributi:

- Mappa: ambiente mappato/non mappato.
- Scenario: familiare/sconosciuto.
- Ambiente: on-road/off-road.
- Ostacoli: statico, prevedibile/dinamico o imprevedibile/dinamico.
- Velocità: lenta (fino a 50 Km/h) / veloce

Per il progetto in oggetto, si richiede che il prototipo di guida autonoma sia in grado di operare almeno nel seguente ambiente di riferimento:

- Mappa: ambiente mappato.
- Scenario: familiare.
- Ambiente: on-road.
- Ostacoli: statico, dinamico e imprevedibile.
- Velocità: lenta (fino a 50 Km/h)

Un maggior punteggio per il merito dell'innovazione sarà assegnato in base alla maggiore difficoltà rispetto allo scenario base indotta dall' ambiente di riferimento prescelto e in funzione dell'uso di strade aperte al pubblico.

La prova in ambiente urbano aperto al pubblico, in particolare, sarà considerata di particolare pregio per il progetto.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 78 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.24] GUIDA AUTONOMA CON MACHINE LEARNING –Si ricorda che sono in corso studi per sistemi di guida con ML che vanno oltre l’architettura descritta in questo capitolato tecnico. Si veda p.es. [Deep Driving, Chenyi Chen et al., 2015] laddove si dimostra che una DNN convoluzionale può funzionare bene per guidare una macchina in un ambiente virtuale molto vario utilizzando i dati di addestramento dati dalla registrazione di 12 ore di guida umana senza bisogno del riconoscimento di linee di mezzeria, ostacoli e altri veicoli e di un pianificatore di percorso. Sullo stesso tema si veda [M. Bojarsky et al., 2016], dove si dimostra per simulazione e test che il sistema DRIVE PX di NVIDIA è capace di apprendere a controllare lo sterzo di un veicolo mantenendo la corsia tramite l’acquisizione di immagini video a 30 fps basandosi su GPU che usano CNN facendo seguito all’esperienza DAVE (2004) (DARPA Autonomous Vehicle) e successivo DAVE-2.

Il contraente è libero di proporre architetture di guida autonoma ML end-to-end che riceveranno una valutazione addizionale in termini di innovatività.

[RQ.25] SISTEMA DI AUGMENTATION STRADALE- Il sistema di augmentation non fa parte della fornitura del progetto e deve essere messo a disposizione del progetto per lo sviluppo e le prove sul campo. Le relative informazioni di correzione e integrità possono essere acquisite direttamente in modalità RTK, PPP (o PPP-RTK). Il formato dei dati di correzione sarà compatibile con il formato RTCM SC-104 v3 (NTRIP) e superiore (e RTCM SC-134 in fase di finalizzazione) in modalità OSR o SSR. Le correzioni e le informazioni di integrità saranno trasmesse su canale sicuro utilizzando preferibilmente meccanismi di cifratura o autenticazione dei dati. Il sistema con la risoluzione dell'ambiguità (AR) RTK o PPP-AR è preferito, ma poiché ci sono molte situazioni con gravi multipath o blocco del segnale blocco quando è difficile risolvere l’ambiguità, per esempio, sotto edifici urbani o nelle foreste, è anche accettabile una soluzione RTK o PPP con ambiguità floating o basata su codice. Inoltre, il ricevitore GNSS deve essere in grado di rilevare il cycle slip. Questo fenomeno è, infatti, comune in ambienti urbani e in movimento in cui i segnali GNSS sono comunemente ostruiti e riflessi, e deve essere rilevato e riparato.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 79 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Si rimanda alla Nota Tecnica per la trattazione dell'integrità a più livelli.

Sarà, infine, considerato come titolo di merito addizionale il trattamento delle correzioni RTCM ricevute sul canale di cui al protocollo 802.11p “Dedicated Short Range Communications (DSRC)” al messaggio SAE #18 secondo lo standard SAE J2735 e SAE J2945/1.

[RQ.26] COMUNICAZIONI V2X – Costituisce caratteristica addizionale di innovazione la capacità di scambiare dati sul protocollo V2X di tipo 802.11p “Dedicated Short Range Communications (DSRC)” tramite relativi messaggi “Over-the-Air (OTA)” in SAE J2735 e con riferimento ai MOPS (SAE J2945/1).

In questo scenario possono essere dimostrate una o più di una delle seguenti capacità:

- Vengono fornite le informazioni di identificazione, posizione, movimento e di controllo alle auto in prossimità connesse in V2X con accuratezza di posizione massima di 1,5 metri (lane-level accuracy), accuratezza di velocità massima di 0,28 m/sec, accuratezza angolare massima di 2 gradi, latenza inferiore a 100 msec (valore misurato <48 msec a 95%, [K. Zhou, 2020]) e data rate dei messaggi di 10 Hz.
- Vengono ricevute le informazioni RTCM di correzione dalla stazione di riferimento N-RTK o RTK.
- Vengono ricevuti i dati pseudorange dai veicoli circostanti e viene calcolato la posizione di ego-motion in modo cooperativo [Mohsen Rohani et al.,2015] usando p.es. Cooperative Map Matching (CMM) e Dynamic DGPS (DDGPS).
- Vengono ricevuti dati di sincronizzazione o la posizione degli incroci (V2I).
- Vengono ricevuti dati massivi come le mappe digitali tramite C-V2X o 5G-V2X.
- Si usano antenne innovative quali metasuperfici conformi [Marouan Mizmizi et al., 2022]
- Platooning - Il platooning dei veicoli autonomi è uno scenario in cui i veicoli si seguono automaticamente in una formazione sequenziale nota come plotone. Questa possibilità sarà particolarmente attraente per i trasporti



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 80 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

commerciali. Può richiedere un pilota umano che è fisicamente presente o esegue il controllo remoto del veicolo in testa alla formazione. Gli elementi abilitanti sono:

- o Range relativo e posizionamento cooperativo;
- o Comunicazione veicolare e consapevolezza situazionale;
- o Adeguati algoritmi di posizionamento e di integrità.

Si veda la sperimentazione svolta in [Shin Kato et al., 2002]. L'innovatività addizionale della proposta sarà basata sul numero di caratteristiche proposte dal contraente.

[RQ.27] CSWAP – Considerando la necessità di imbarcare la strumentazione a bordo del veicolo, la ridotta complessità dello strumento in termini di Cost, Size, Weight, and Power (CSWaP) è considerata fattore di merito del progetto.

[RQ.28] CERTIFICAZIONE – LOCBS devono raggiungere il livello TRL 6, ovvero deve essere fornito un prototipo di cui sono testate le funzioni critiche in ambiente stradale reale. Non è richiesta la certificazione per uso stradale ma i dispositivi devono essere “certification ready” ovvero tutte le analisi preliminari per ottenere la certificazione devono essere state svolte, con particolare riferimento alla certificazione di sicurezza secondo lo standard ASIL. Le analisi svolte nel progetto includeranno come minimo:

- h. Funzioni, interfacce e prestazioni
- i. Fabbricazione di apparecchiature
- j. Affidabilità, disponibilità, manutenibilità, sicurezza (RAMS)
- k. Altro come deciso del contraente



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 81 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

<p>Requisiti di validazione</p>	<p>[RQ.29] PIANO VERIFICA E VALIDAZIONE- Dovranno essere selezionati metodi di test opportuni per la dimostrazione del TRL finale della soluzione sviluppata, in accordo con la normativa ECSS (e.g. test di laboratorio, test funzionali, etc.) e/o utilizzando le normative nazionali ed europee applicabili nel campo stradale.</p> <p>Il piano di prova deve comprendere diverse prove sul campo in percorsi stradali secondo lo scenario operativo prescelto. Il piano di prova deve coprire combinazioni di diversi fattori che influenzano/degradano la soluzione di PNT (ad. Es. tipo di veicolo, tipo di antenna, montaggio dell'antenna, tipo di ambiente operativo, ecc.).</p> <p>Il documento deve presentare la campagna di test del ricevitore integrato GNSS stradale LOCBS e definire i casi di test che copriranno come minimo i seguenti KPI:</p> <ul style="list-style-type: none">• Accuratezza di posizione (latitudine, longitudine) sia in condizioni statiche che dinamiche,• accuratezza del tempo,• Accuratezza della velocità,• Tempo di (ri)acquisizione (warm e cold start),• Sensibilità,• Robustezza contro le interferenze (come minimo con controllo della precisione e disponibilità della posizione, TTFF e tempo di ri-acquisizione valutati con interferenze quali CW, a banda stretta/ larga e con interferenza pulsata),• Robustezza contro spoofing,• Supporto RAIM con calcolo di FDE e PL,• Disponibilità della soluzione PVT• Disponibilità NMEA e RINEX. <p>Il contraente può proporre un tailoring dello standard ETSI applicabile.</p> <p>Oltre al test specifico di LOCBS, sarà verificato il buon funzionamento del veicolo autonomo stradale in modo end-to-end verificando almeno:</p> <ul style="list-style-type: none">• la correttezza della pianificazione della traiettoria in termini di waypoint raggiunti, deviazione media (cross-tracking error), energia media, tempo e distanza di percorrenza.• la correttezza dell'attuazione in termini di angolo di sterzo e numero di giri del motore (commanded throttle e commanded
--	--



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 82 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

steering) in base all' errore fra velocità e direzione comandati e ottenuti.

- controllo dell'eventuale presenza di valori fuori limite dinamici (p.es. per saturazione dello yaw rate e speed).
- la corretta identificazione ed elusione degli ostacoli.

[RQ.30] TAILORING ECSS – Considerando gli standard ECSS, il piano di verifica e validazione dovrà essere formulato sulla base di opportuno tailoring dello stesso.

[RQ.31] ELEMENTI DI FORNITURA – Sarà fornito il computer di bordo che ospiterà le funzioni GNC e, in particolare, LOCBS nonché tutto il relativo software.

È richiesto una secondo esemplare di LOCBS con il suo ambiente di sviluppo e test da installare nel costruendo Centro Nazionale di Competenze GNSS di proprietà dell'ASI.

La realizzazione del sistema di localizzazione specifica per il progetto è obbligatoria e sarà fornita la IPR mentre per gli sistemi GNC si possono usare sistemi esistenti coperti da B-IPR o prodotti commerciali.

Costituirà titolo di merito addizionale per la proposta lo sviluppo di sistemi dedicati al progetto di cui sarà fornita la F-IPR ad ASI in aggiunta al sistema di localizzazione.

Saranno forniti tutti i sensori di bordo.

I sistemi saranno integrati fra loro e con i sistemi di esistenti bordo, tramite bus fisico (p.es. CAN, USB 3.x, Gigabit Ethernet, LIN) e sistema operativo software (p.es. ROS, ROS2, RTOS, AUTOSAR) operante su ECU (Electronic Control Unit) di bordo.

Il Computer di bordo che ospiterà le funzioni di guida autonoma sarà dimensionato in modo adeguato come potenza di calcolo e memoria RAM e di massa; si segnalano piattaforme GPU-like dedicate con acceleratori hardware in FPGA (p.es. Drive PX2 di Nvidia, Nvidia Tegra Card, Jetson Tx2 o quad core ARM9) per le funzioni di percezione, localizzazione e pianificazione e piattaforme quali dSPACE MicrpAutobox per il controllo della traiettoria.

Per gli attuatori si consigliano sistemi Drive-by-wire (DBW). Per una lista di hardware tipica si può consultare [TUM, J. Betz, 2022].

Sarà anche fornito il sistema di alimentazione ausiliario. Nel caso di BRAiVE Il sistema di alimentazione personalizzato include una batteria aggiuntiva 100-Ah per fornire la corrente necessaria a tutti i dispositivi come come sensori, computer, display e hub.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 83 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Sarà fornito il sistema di comunicazione con il controllore remoto. Sarò fornito il veicolo autonomo CAV opportunamente adattato alla guida autonoma completo di antenne GNSS e di comunicazione. L'ambiente di simulazione sarà fornito al committente, eventualmente coperto da B-IPR.

[RQ.32] ANTENNE GNSS – Sarà fornita l'antenna omnidirezionale GNSS adatta per sistemi veicolari. Un sistema di doppia antenna può essere implementato per il calcolo dell'assetto in aggiunta al dato della IMU.

L' antenna dovrà rispettare le seguenti caratteristiche generali:

- Larghezza di banda adeguata a ricevere segnali multicostellazione e multifrequenza
- Alto rapporto di ricezione fra il segnale RHCP e LHCP
- Ridotto PCV (Phase Centre Variation)
- Capacità di filtraggio delle interferenze fuori banda
- Bassa figura di rumore e alto guadagno

[RQ.33] MODELLI – Sulla base del TRL obiettivo e coerentemente ad esso, dovranno essere definiti e realizzati i modelli e/o scenari opportuni per effettuare le attività di verifica della soluzione finale.

[RQ.34] AMBIENTE DI TEST - Le caratteristiche dell'ambiente di test dovranno essere l'involuppo delle caratteristiche ambientali per cui la soluzione è progettata

[RQ.35] SIMULATORE – Il contraente simulerà le condizioni operative tipiche in laboratorio prima di eseguire le prove sul campo, simulando le costellazioni GNSS, la traiettoria e il canale di propagazione. Si procederà ad eseguire un test end-to-end del veicolo autonomo in uno scenario simulato, quale p.es. CARLA [<http://carla.org>].

La prova con scenario simulato sarà condotta in due livelli:

- Software-in-the-Loop (SiL). SiL è ideale per il software. analisi della stabilità del software e l'indagine del comportamento predittivo e di pianificazione.
- Hardware-in-the-Loop (HiL). Questo ambiente permette di simulare la pila completa di funzioni software inclusa la percezione, i sensori e gli oggetti in movimento). In particolare, i modelli del GNSS e degli altri sensori sono integrati nella simulazione dinamica del veicolo e inviati al



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 84 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

computer reale del veicolo tramite specifico protocollo (p.es. UDP e messaggi ROS2).

È responsabilità del contraente di proporre soluzioni per l’ambiente di simulazione da sottoporre all’approvazione di ASI.

Si possono usare soluzioni già sviluppate e messe a disposizione del progetto.

Successivamente si eseguiranno prove su un percorso reale non aperto al pubblico a scelta (zona privata o circuito).

Il contraente può decidere di fare anche la prova su strade aperte al pubblico e in questo caso si incaricherà di ottenere l’autorizzazione dalle autorità competenti (Ministero e proprietario della strada) secondo la normativa vigente.

Questo tipo di prova si intende possibile solo se state superate con successo le prove simulate e su percorso chiuso al pubblico.

[RQ.36] ESECUZIONE DEI TEST – Le attività di test dovranno essere eseguite secondo quanto stabilito dal piano di verifica e validazione e della documentazione applicabile (i.e. procedure); il contraente assicurerà ad ASI la completa visibilità delle attività di test e dei suoi risultati (i.e. test report, post test analysis).



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 85 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Area disciplinare	C) Sistema di navigazione per la guida autonoma marittima
Contesto	<p>Uno dei primi esempi di largo impiego del GPS risale all'uso del DGPS a media frequenza secondo le prescrizioni di IALA. Il GNSS è diventato obbligatorio per tutte le imbarcazioni commerciali (secondo International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) del 1977 e ss.mm.ii.), ma è, ormai, anche utilizzato da una grande parte delle applicazioni di navigazione marittima di carattere generale.</p> <p>Il trasporto marittimo si trova attualmente ad affrontare nuove sfide, quali l'aumento significativo dei volumi di trasporto, requisiti ambientali più rigorosi e la carenza di personale marittimo in futuro.</p> <p>Per rispondere a queste nuove sfide, IMO (International Maritime Organization) sta sviluppando una strategia di innovazione tecnologica che include elementi quali E-navigation, Multi-system Shipborne Receiver (MSR) e l'automazione marittima.</p> <p>In particolare, l'automazione e le altre nuove tecnologie quali 5G, comunicazioni satellitari, cloud, UAV, block chain, IOT, digital twin/GIS e osservazione della terra porteranno benefici importanti nei settori applicativi marittimi.</p> <p>Uno dei nuovi concetti che hanno il potenziale di rispondere a queste sfide è la navigazione autonoma della nave.</p> <p>Elemento essenziale dei MASS sono tecnologie avanzate quali Position, Navigation and Timing (PNT) accurati, resilienti, con garanzia di integrità e la connettività digitale.</p> <p>In questo contesto l'ASI mira a sviluppare un sistema di localizzazione marittimo fondato sui principi MSR ad alta precisione e con garanzia di integrità adatto alla guida autonoma.</p> <p>Tale localizzatore sarà integrato in un prototipo MASS di livello 4 (fully autonomous) senza personale a bordo, che potrà essere testato nel sito di prova di navi autonome presso CNR-INM di Nemi, in corso di realizzazione con progetto Europeo I-MASTER (Italian MASs TEst Range) del NAVISP-elemento tre, approvato recentemente da ASI) in modo da avere un approccio olistico nazionale alla tecnologia MASS.</p> <p>Tale obiettivo sarà raggiunto mettendo a punto il componente essenziale della localizzazione di bordo che sarà impiegato secondo le prescrizioni IMO per l'automazione marittima.</p> <p>Tale componente è considerato un componente tecnologico abilitante per lo sviluppo del trasporto marittimo del futuro capace</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 86 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>di apportare benefici diretti per l'utenza secondo le seguenti direttive:</p> <ul style="list-style-type: none">• Green and Smart Ports. L'automazione consentirà operazioni navali più efficaci e competitive, riducendo nel contempo ulteriormente l'impatto ambientale delle navi, specialmente nei porti.• Maritime Sustainability. Il ventunesimo secolo è il secolo dell'oceano e del mare. Più di 70% di superficie della terra è coperto dagli oceani e dal mare; essi ospitano una vasta gamma di risorse naturali, tra cui petrolio e gas, ecosistemi, specie biologiche, prodotti minerali, e così via. L'oceano e il mare diventano, così, uno spazio strategico e la base di risorse per la sopravvivenza degli esseri umani e lo sviluppo sostenibile della società. I sistemi automatici potranno esplorare e studiare tali ambienti per proteggerli dall'inquinamento ed utilizzarli in modo efficiente e sostenibili per il benessere umano. Navi automatiche di superficie e sottomarine potranno eseguire in maniera semplice e continua il monitoraggio delle zone costiere, dell'inquinamento delle acque (compreso le acque di sentina), dell'inquinamento acustico prodotte dai trasporti marittimi, delle aree marine protette e delle infrastrutture costiere.• Safety and Security. Navi automatiche saranno impiegate per sorvegliare il traffico marittimo, per prevenire frodi nella pesca, l'immigrazione illegale e i crimini ambientali, pattugliare i mari in operazioni duali ed eseguire operazioni di SAR. Le imbarcazioni ASV sono ideali per svolgere compiti ripetitivi, in ambienti ostili o pericolosi secondo il paradigma “dull, dirty, or dangerous”.
Obiettivi	<p>L'obiettivo dell'attività è quella di identificare, realizzare e testare in ambiente rappresentativo soluzioni di posizionamento GNSS nei trasporti marittimi autonomi che, sfruttando tecnologie attuali, nuove e/o in fase di sviluppo, ne migliorino le prestazioni rispetto allo stato dell'arte, per la medesima classe di servizi, considerando che i requisiti relativi ai sistemi di determinazione della posizione dell'imbarcazione diventeranno sempre più rigorosi con l'aumento dell'automazione fino al livello 4 della scala di automazione IMO.</p> <p>Obiettivo del progetto è di definire e proporre concetti di sistema PNT rilevanti per l'attività autonoma, tra cui l'identificazione e la selezione del numero e del tipo di antenne GNSS, i sensori e gli attuatori da utilizzare e gli algoritmi necessari per eseguire la determinazione del posizionamento e dell'assetto della nave, nonché la fusione dei sensori e l'integrità.</p> <p>Le aree di interesse per lo sviluppo delle navi autonome, per quanto riguarda la localizzazione, comprendono i seguenti campi:</p>



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 87 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<ul style="list-style-type: none">• definire le esigenze degli utenti,• stabilire i requisiti di prestazione secondo lo standard IMO,• definire l’architettura del localizzatore secondo il principio MSR,• beneficiare dei sistemi di augmentation marittimi,• definire il controllo dell’integrità,• mitigare gli effetti del multipath marino,• garantire la resistenza allo spoofing/jamming/meaconing,• modellare i rischi,• definire i requisiti di resilienza. <p>La nave eseguirà un punto della situazione autonomo tramite la localizzazione precisa e la percezione utilizzando i dati dei sensori di bordo e i dati provenienti dalle infrastrutture fisse/satellitari, eseguirà la pianificazione del percorso con la prevenzione delle collisioni, e l’attuazione dei comandi di controllo, secondo lo schema classico di GNC (Guida, Navigazione e Controllo).</p> <p>La localizzazione delle navi autonome dovrà essere compatibile con la movimentazione nei porti (soprattutto attracco e movimentazione container) e la navigazione fluviale (soprattutto in prossimità dei ponti) che richiedono sistemi di localizzazione con accurata e alta disponibilità del servizio anche in condizioni di alta interferenza ambientale.</p> <p>Le attività oggetto di questo bando prevedono la realizzazione del sistema di posizionamento di precisione multi-sensore ad alta integrità e certificabile per le imbarcazioni marittime (LOCBM) inserito in una nave autonoma di livello quattro.</p>
Requisiti programmatici	<p>[RQ.1] OBIETTIVO PROGRAMMATICO – Il sistema di posizionamento integrato GNSS LOCBM dovrà essere in grado di garantire il raggiungimento degli obiettivi per cui la soluzione è progettata velocizzando i processi, riducendo la tempistica, migliorando l’autonomia e ottimizzando in generale le prestazioni allo stato dell’arte.</p> <p>Gli obiettivi dell’attività sono:</p> <ul style="list-style-type: none">- studiare e implementare il localizzatore di bordo basato sull’uso combinato di più sistemi e sensori marittimi [Resolution MSC.401 (95)] e [MSC.1/Circ.1575, 16 June 2017];- predisporre algoritmi RAIM nel sistema di localizzazione certificabile di bordo;- realizzare un’imbarcazione per la guida autonoma che ospiti il localizzatore PNT marittimo multisensore/multisistema e che



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 88 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<p>consenta una verifica in condizioni realistiche del sistema [MSC.1/Circ.1638 3 June 2021];</p> <p>- fornire l'autopilota (GNC). Costituirà caratteristica innovativa aggiuntiva del progetto la realizzazione di un sistema di GNC ad-hoc che si integri con il localizzatore per la guida autonoma.</p> <p>Sarà considerato titolo di merito aggiuntivo per l'innovazione l'uso dell'intelligenza artificiale e le tecniche di apprendimento automatico per l'uso combinato di più sensori nei ricevitori PNT marittimi per la navigazione navale automatica.</p> <p>LOCBM sarà integrato in un MASS di livello quattro, secondo la classificazione di IMO di cui al documento MSC-100 3-7 Dec 2018 Agenda 100-5 e ripresa da RSE (Regulatory Scoping Exercise for the use of the Maritime Autonomous Surface Ships, 2021), ovvero il sistema operativo della nave è in grado di prendere decisioni e determinare le azioni da solo.</p> <p>[RQ.2] DURATA DELLE ATTIVITA' – la durata massima delle attività è di mesi 24 dal KO.</p> <p>[RQ.3] ANALISI DEL RISCHIO - Il contraente condurrà l'analisi del rischio delle attività del progetto e proporrà le relative azioni di mitigazione. Si veda:</p> <ul style="list-style-type: none">• ISO/IEC 31010. Risk Management – Risk Assessment techniques• SO/IEC 27005. Information Technology – Security techniques. Information security risk management.
Requisiti tecnici	<p>[RQ.4] TRL - La soluzione proposta dovrà raggiungere, a fine progetto, il TRL 6. La certificazione del prodotto non rientra nel perimetro del progetto ma esso deve essere certification-ready.</p> <p>[RQ.5] NORMATIVA APPLICABILE – Le soluzioni tecniche dovranno essere progettate, sviluppate, realizzate e testate in aderenza alle normative nazionali ed europee di pertinenza; inoltre, dovranno essere presi come riferimento gli standard ECSS e gli standard marittimi.</p> <p>[RQ.6] SAFETY - Gli aspetti di safety dovranno svolgersi in ottemperanza alle regole nazionali ed europee applicabili e secondo gli standard ECSS e gli standard marittimi.</p> <p>[RQ.7] CYBER-SICUREZZA - Tutti gli aspetti della sicurezza informatica devono essere incorporati nella progettazione iniziale di tutti i software e hardware in MASS. Si veda [MASS UK Industry</p>

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 89 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Conduct Principles and Code of Practice], IMO resolution MSC. 428(98) del 2017 e ISO IEC 27001/ISO 27002.

[RQ.8] CONCETTO OPERATIVO – La soluzione tecnica proposta dovrà essere in linea con il proposto Concept of Operation per le navi autonome di livello quattro (4).

[RQ.9] AFFIDABILITA' – La soluzione dovrà garantire affidabilità e robustezza superiore o comparabile rispetto a quella delle soluzioni di navigazione non-autonome o telecomandate allo stato dell'arte.

[RQ.10] ARCHITETTURA DI LOCBM – Da un punto di vista architettonico LOCBM si compone di:

- LOCM (Localizzatore Marittimo)
- RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)

Per i dettagli implementativi dei due moduli e le tecniche di ML/DL si rimanda il contraente alla Nota Tecnica.

[RQ.11] REQUIRED NAVIGATION PERFORMANCE MARITTIMA (RNP) – Si considerino i requisiti forniti da GSA/EUSPA in GSA-MKD-MAR-UREQ-229399 estratti dalla risoluzione di IMO A.915(22) del 2001 come modificata da A.1046 (27) del 2011. Il documento classifica i requisiti marittimi in 3 macrocategorie corrispondenti a 10, 1, e 0.1 m di accuratezza di posizione minima orizzontale.

La categoria 1 (10 mt di risoluzione a due sigma, 99.8% disponibile su una durata di 30 giorni, AL= 25m, Integrity risk $\leq 10^{-5}$ su tre ore, TTA ≤ 10 s) si occupa della Navigazione generale (SOLAS e ricreativa) in Oceano, mare o Zona Costiera, avvicinamento al porto e ingresso, navigazione fluviale, pesca e oceanografia.

La categoria 2 (1 mt resolution, 99.8% disponibile su una durata di 30 giorni, AL= 2.5m, Integrity risk $\leq 10^{-5}$ su tre ore, TTA ≤ 10 s) si occupa della navigazione in porti e acque ristrette, posa di cavi e tubazioni sottomarini, esplorazione offshore e manovra in prossimità di ponti.

La categoria 3 (0,1 mt resolution (H e V), 99.8% disponibile su 30 giorni, AL ≤ 0.25 m, Integrity risk $\leq 10^{-5}$ su tre ore, TTA ≤ 10 s) si occupa dei lavori di dragaggio e di costruzione, sistemi di avviso di collisione con il ponte, docking e movimentazione dei container.

Inoltre, secondo MSC.401 (95) e ss. mm. i., il ricevitore multisistema di radionavigazione navale deve stimare, come minimo, la posizione, la rotta rispetto a terra (COG), la velocità rispetto a terra (SOG) e la temporizzazione sia per gli scopi di navigazione sia come input per le altre funzioni di bordo. Queste informazioni devono essere rese disponibili sia durante le operazioni statiche che dinamiche.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 90 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Per i KPI sopra menzionati, si faccia riferimento alla “Table C-1: Operational Accuracy Level for PNT Output Data” del riferimento [MSC.1/Circ.1575].

N.B.1: Per la movimentazione container è richiesto un TTA massimo di 1 secondo.

N.B.2: Per l’avvicinamento al porto, acque ristrette, porto e acque interne si applica anche un requisito di continuità del 99,97 % su 15 minuti

N.B.3: Per l’attracco, si applica un requisito di continuità del 99,97 % su 15 minuti e accuratezza di 0.1m/s di Speed over Ground (SOG).

N.B.4: Per le categorie 2 e 3 l’uso di sistemi di augmentation (SBAS o RTK o PPP) con RAIM a bordo è necessario. Si veda a questo proposito il progetto SEASOLAS di H2020.

N.B.5: Il requisito di continuità è di 99,97% sulle tre ore ed è stato modificato da A.1046 (27) in 15 minuti per navigation in harbour entrances, harbour approaches and coastal waters.

N.B. 6: La posizione sarà aggiornata almeno ogni due secondi (A.1046 (27)).

Si richiede che per LOCBM siano applicabili i KPI per le tre categorie sopra menzionate e contenuti in A.915(22) e A.1046 (27), nonché le grandezze SOG, COG e temporizzazione contenute in MSC.1/Circ.1575.

In aggiunta, è richiesto il calcolo delle altre grandezze PNT di Grado IV, cioè, angolo di rotta (HDG, heading), ROT (Rate of Turn), CTW (Course Through Water), STW (Speed Through Water), secondo MSC.1/Circ.1575.

Il calcolo di tali parametri permette, infatti, di eseguire il controllo automatico di ASV.

Le altre grandezze del grado IV (altezza, profondità, pitch, roll, heave) saranno calcolate solo nel caso di attuazione del controllo del punto nave in 3D.

Il tipo di grandezze PNT di Grado IV da calcolare dipende, comunque, dal modello dinamico implementato e dal tipo di controllo attuato.

Nel caso ordinario di controllo sotto-attuato (generalmente applicato tranne che nel caso di mantenimento del punto di stazionamento), si possono assumere i vincoli non olonomici (modello planare) e un modello dinamico a 3 DoF e si calcolano i soli valori di surge, sway and yaw.

In questo caso, in alcune condizioni, può anche essere trascurato il contributo delle correnti e la velocità trasversale (sway) e attuato il



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 91 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

solo controllo a 2 DoF basato sulla velocità longitudinale e angolo di timone con stato misurato soltanto da GNSS e girobussola. [Massimo Caccia et al., 2008].

[RQ.12] INTEGRITA' - Il concetto di integrità a livello di utente (RAIM) è previsto dalle risoluzioni A.915 (22) e A.1046(27), Resolution MSC.233 (82) [Galileo] e Resolution MSC.112 (73) [GPS] e normato dallo standard IEC e in particolare dalla serie 1 (GPS) e 3 (Galileo). Le due serie divergono notevolmente nei requisiti e il contraente implementerà i requisiti più stringenti, ovvero quelli relativi a Galileo rendendoli applicabili anche al caso di GPS. Sarà, dunque, implementato un algoritmo completo RAIM che include FDE e calcolo dei livelli di protezione con parametri di integrità (inclusi Pmd, Pfa) estratti dalla normativa IEC 61108 serie 3 con un TTA massimo di 10 secondi.

In particolare, i tre diversi stati di integrità inclusi nella norma IEC di Galileo saranno definiti in termini di livello di protezione orizzontale (HPL):

- Condizioni per lo stato di integrità sicuro: l'HPL calcolato è inferiore a HAL [messaggio SAFE mostrato sul ricevitore]
- Condizioni per lo stato di integrità di cautela: l'indicazione dello stato di cautela deve essere usata quando le informazioni insufficienti sono disponibili per calcolare lo HPL per più di tre secondi [messaggio CAUTION mostrato sul ricevitore]
- Condizioni per lo stato di integrità non sicuro: l'indicazione di stato non sicuro deve essere utilizzata quando l'HPL calcolato supera l'HAL per più di 3 s [messaggio UNSAFE mostrato sul ricevitore]

Inoltre, nonostante lo standard IEC (Classical RAIM) non lo preveda, sarà implementato FDE per guasti multipli contemporanei e sarà possibile identificare e rimuovere un'intera costellazione nel caso di errore di modo comune.

Si applica il controllo di integrità a più livelli come descritto nella Nota Tecnica.

Si osserva, infine, che i requisiti di integrità dipendono dal tipo di missione marittima in corso (oceano, costa, approccio al porto, porto, altro con valori di AL variabili da 25 a 2,5 a 0,25 metri e quindi RAIM dovrà utilizzare un algoritmo adattivo per ciascun tipo di missione.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 92 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

È stato dimostrato che EGNOS potrebbe soddisfare i requisiti dell'IMO 1046 per le acque oceaniche, le entrate portuali, gli avvicinamenti portuali e le acque costiere [ESSP2018].

Tuttavia, l'uso di SBAS o altri sistemi di augmentation (eccetto DGNSS) non è ancora stato autorizzato per uso marittimo, quindi il consolidamento del concetto di integrità per il settore marittimo secondo le linee guida di questo requisito, costituisce risultato importante da raggiungere e sarà titolo di merito di innovazione per questo progetto.

Si ricorda, infine, che il concetto di integrità può essere associato ad un controllo non solo della posizione ma anche della direzione e velocità [CAIM (Craft Integrity Monitoring)] tenendo conto anche dell'ingombro dello scafo, specialmente in acque ristrette (p.es. port docking e port approach).

Si cita a questo proposito il progetto MAGS (Maritime Adaptive GNSS Safety Concept) che ha studiato l'utilizzo di un limite di allarme adattivo (AAL). Invece di utilizzare un AL fisso, viene calcolato dinamicamente un AAL considerando il valore in 2D del Vessel Technical Error (VTE) dovuto agli errori di attuazione (velocità e direzione) e degli errori di localizzazione GNSS. Il valore di HPL viene confrontato con AAL per generare eventualmente allarmi di integrità. Viene infine calcolato il MVPVA (Marine Vessel Protection Area) che include l'incertezza nella determinazione della rotta, HPL e l'occupazione fisica della nave per un certo rischio di integrità e confrontato con un corridoio di guida VAAC (Virtual Adaptive Approach Channel) da parte del controllo portuale centralizzato (VTS).

Sarà considerato titolo di merito aggiuntivo per l'innovazione l'implementazione del controllo di integrità di tipo CAIM per acque ristrette secondo il modello MPVA.

[RQ.13] MULTIPATH MARINO (MP)– Oltre alle tecniche RAIM, il localizzatore deve includere tecniche di mitigazione del multipath quali p.es. tecniche di antenna o al livello del ricevitore (con smoothing del multipath con almeno 100 sec di costante di tempo). Si potrà stabilire anche statisticamente un modello di overbounding basato p.es. sulla formula di Jahn's. Si vedano i risultati del progetto Margot (Multipath & Interference Error Mitigation Techniques for future Maritime e-NAV Services (ION 2020+).



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 93 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Da questo studio si evince che, per quanto riguarda il multipath marino:

- C'è solo una piccola differenza fra la navigazione costiera, in mare aperto e l'approccio al porto.
- L'ambiente intorno all'antenna (ma non la sua altezza) hanno l'impatto maggiore. Le navi devono essere classificate in base alla quantità di disturbo di tipo clutter attorno all'antenna GNSS. Una mappatura delle superfici di mascheramento dovrebbe essere considerata.
- Il modello multipath ICAO utilizzato nell'aviazione non è adatto alla navigazione marittima e fluviale.
- Si raccomanda una maschera di elevazione di almeno 20 gradi.
- I metodi per ridurre l'impatto del MP (choke rings e smoothing) hanno effetti di mitigazione importanti.
- Il tipo di ricevitore, la costellazione di navigazione impiegata e il movimento della nave hanno scarso impatto sul MP.
- Si raccomanda uno smoothing dei dati con costante di tempo di almeno 100 s.
- Metodi di controllo di integrità devono essere usati a livello del ricevitore per eliminare gli outliers dovuti al MP.

Il contraente è pregato di prendere nota di questi risultati e analizzarli in proposta.

[RQ.14] ARCHITETTURA DI LOCM- Il concetto di LOCM deve seguire anche le linee guida del “Multi-system shipborne radionavigation receiver equipment” come descritto dalla Resolution MSC.401 (95) e MSC.432 (98) e comprendere:

- RECEIVER EQUIPMENT (MODULE A)
- OPERATIONAL AND FUNCTIONAL REQUIREMENTS (MODULE B)
- INTERFACING AND INTEGRATION (MODULE C)

Esso deve comprendere almeno le antenne GNSS, il ricevitore MFMC capace di ricevere dati di SBAS/Augmentation, ibridato con gli altri sensori quali IMU e sfruttando sistemi di radionavigazione alternativi, ove disponibili, per ottenere elevata precisione, disponibilità e la prevista integrità.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 94 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Seguendo la Resolution MSC. 401(95) esso fornirà come minimo la posizione, SOG, COG e il tempo e fornirà come minimo le seguenti informazioni di stato: sorgente di PVT usata, fase di navigazione, tipo e qualità di augmentation e allarmi di integrità.

Si considerino, a questo proposito, i valori di accuratezza operativa riportati in Table C-1: Operational Accuracy Level for PNT Output Data di [MSC.1/Circ.1575].

I valori di riferimento per il TTFF (p.es 5 min in cold start, 1 min in warm start e 2 min in caso di interruzione) e la frequenza di rinfresco della PVT (da 1 a 2 Hz per high-speed craft (HSC, secondo SOLAS Chapter 10 Reg. 1.3), saranno estratti dal riferimento MSC.401 (95). I dati di altezza possono essere ricevuti dall'esterno sotto forma di livello del mare e possono facilitare la risoluzione dell'ambiguità delle misure di fase, come meglio dettagliato nel requisito di augmentation.

Dovranno anche essere fornite le informazioni necessarie al controllo automatico di ASV (vedi requisito dedicato per PNT di grado IV).

Sarà fornito un sistema di rilevamento e mitigazione delle interferenze. Gli effetti di Multi-path e compatibilità elettromagnetica (EMC) saranno presi in considerazione con particolare riferimento alla scelta e installazione delle antenne a bordo. Si veda a questo proposito la trattazione nella Nota Tecnica. Sarà fornito un sistema RAIM/CAIM (Craft Receiver Integrity Monitoring) anche sfruttando sensori alternativi e sistema PVT aggiuntivi rispetto a GNSS.

L'informazione di integrità richiesta è alta, ovvero includerà il controllo di consistenza e il calcolo dei livelli di protezione per le informazioni di posizione orizzontale e tempo secondo i RNP (Required Navigation Performance) marittimi.

I formati dei dati di navigazione in uscita verso gli altri apparati saranno di tipo NMEA 0183 o NMEA2K e RINEX su protocollo Ethernet, CAN o altro protocollo di comunicazione a scelta del contraente.

Sarà, inoltre, implementato il concetto di fusione multisensore di MSR (IMO Circ. 1575).

Sarà, infine, eseguita un'analisi di guasto a livello funzionale, che verificherà che l'apparecchiatura è stata progettata utilizzando principi di progettazione sicuri e garantirà che l'apparecchiatura includa azioni "fail-to-safe". L'analisi dei guasti prenderà in



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 95 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

considerazione l'impatto di tutte le modalità di guasto (ad es. quelle causate da interferenze elettriche, componenti, radiofrequenze o jamming, ecc.).

Sono applicabili, infine, i requisiti di prestazione secondo gli standard IMO A.915 (22) e A.1046(27), Resolution MSC.233 (82) [Galileo] e Resolution MSC.112 (73) [GPS] (come applicabili allo stato delle costellazioni attuali), standard IEC serie 1 (GPS) e 3 (Galileo)].

[RQ.15] INTEGRAZIONE MULTISENSORE - Con riferimento a [MSC.1/Circ.1575], la fornitura a bordo di dati PNT resilienti e relativi dati di integrità (I) e di stato (S) è realizzata attraverso l'uso combinato di componenti hardware di bordo (HW) e software (SW) e risiedono nel PNT Data Processing (PNT-DP) secondo le prescrizioni dello standard. In una configurazione minima, il PNT-DP utilizza il numero e il tipo di sensori definiti nella SOLAS (in dipendenza del tipo di nave).

Per realizzare la fusione multisensore, oltre a GNSS, si citano i seguenti sensori

- Sensori primari (e.g. bussola magnetica, girobussola, ROTI, SDME (RADAR, ARPA), Depth sensor, bussola GNSS, 6DOF IMU, DVL, CNS ...);
- Sensori secondari per MOT e docking (e.g. LiDAR, RADAR, SONAR, videocamera ottica (da 3 a 4), videocamera a infrarosso, sensore di prossimità, ...)
- Sistemi regionali terrestri (e-LORAN, R-Mode...)
- Sistemi di augmentation (e.g. SBAS, DGNSS, RTK, PPP...)
- Altri (AIS, VDES, ECDIS, stazione meteo, ...)

Si segnala che DVL è fondamentale per il calcolo della velocità relativa. Esso calcola la velocità relativa tra l'area dell'acqua e il dispositivo utilizzando il cambio di frequenza Doppler del segnale sonoro che viene riflesso e ritorna dal fondo del mare.

Caratteristiche tipiche del DVL sono: campionamento a 1 Hz, random noise st.dev = 0,05 m/sec

Di particolare rilevanza è la stima della direzione assoluta del movimento dell'imbarcazione (yaw o azimuth).

Mentre il rollio e il beccheggio possono essere stimati con sufficiente precisione tramite una IMU grazie alla presenza della componente verticale della gravità, l'angolo d'imbardata risente della precisione del giroscopio (p. es. nel caso di MEMS) e della deriva della IMU in

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

assenza di calibrazione da parte del GNSS nel caso di oscuramento o jamming.

In questo caso diventa essenziale la fusione di GNSS/IMU con altri sensori e l'uso di sistemi alternativi. In alternativa, secondo [Kenneth Gade, 2016] esistono sette metodi per il calcolo dell'orientamento:

1. Bussola magnetica. La bussola magnetica può essere però facilmente disturbata dalle condizioni ambientali o tempeste magnetiche e ha un'accuratezza ridotta alle alte latitudini. Caratteristiche del Magnetometro: 5 Hz, random noise st.dev = 2 deg
2. Girobussola. Ha alta accuratezza anche se risente della velocità del veicolo (a 1m/s in direzione N/S può risentire di un errore di 0,12 deg all'equatore. Valore massimo ammissibile 0,5 deg).
3. Vettore della distanza fra due oggetti noti (p.es. Sensore stellare).
4. Vettore della distanza dalla posizione del veicolo ad un oggetto noto.
5. Antenna GNSS doppia (richiede GNSS, buona accuratezza indipendente dalla latitudine, con errore tipico di 0,3 deg con baseline di 0,5 metri).
6. Vettore di velocità del veicolo (richiede veicolo in movimento, errore tipico in AUV pari a 0,5 deg a un sigma).
7. Vettore di accelerazione del veicolo (richiede veicolo in movimento, errore tipico in elicottero pari a 0,16 deg a un sigma).

Si ricorda che, nel caso di AUV, gli idrofoni possono misurare la direzione, calcolando il bearing (componente orizzontale del vettore distanza) nota la posizione dell'idrofono e del trasmettitore acustico (a terra o su ASV), applicando così il metodo 4.

Sulla scorta della Nota Tecnica ASI raccomanda di adottare un'architettura federata classica, che, al minimo, è costituita da INS in connessione parallela al ramo GNSS/AUG e al ramo della girobussola (o magnetometro) e DVL.

Si prenda come riferimento USV Springer [Wasif Naeem, Robert Sutton, Tao Xu, 2011 (b)], laddove fa fusione multisensore (MSDF) è



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 97 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

ottenuta tramite un filtro modificato di tipo FLA (Fuzzy Logic Adaptive) federated Kalman filter (FLA-FKF) [T Xu, R Sutton and S Sharma, 2007].

L'uso di sensori a immagine (RADAR, SONAR o LiDAR o videocamera) per la localizzazione marina può essere considerato per ambienti urbani o fondali con cartografia già disponibile.

N.B.: In alternativa al filtro federato il contraente può proporre un filtro multisensore FGO dimostrando il beneficio della soluzione rispetto al filtro federato in termini di flessibilità, robustezza, carico computazionale e adattività alle diverse condizioni ambientali.

Sarà compito del concorrente selezionare i sensori più adatti al caso d'uso, da affiancare ai sensori di cui sopra in un'architettura multi-sensore di LOCBM.

Nella Nota Tecnica si riportano le caratteristiche minime da rispettare dei sensori.

Per i sensori non citati sarà compito del contraente fornire le specifiche minime.

Si veda la letteratura dedicata quale [Yanrui Geng et al., 2010], [Pifu Zhang et al., 2005], [Chuang Zhang et al., 2018], [J.J. Gehrt, R. Zweigel et al., 2018] e [Douglas Soares dos Santos et al., 2019].

Per le tecniche di fusione dei sensori e le prestazioni tipiche minime dei sensori si rinvia si rimanda il contraente alla Nota Tecnica per i dettagli.

Si segnala, a questo proposito, anche lo studio Maritime-AI NAV (NAVISP-EL1-020).

Si richiede, inoltre, la realizzazione di un'architettura resiliente. Si veda a questo proposito lo studio MarRINav (Maritime Resilience and Integrity of Navigation, ION+ 2020), laddove si evidenzia che il PNT resiliente è necessario per garantire attualmente una navigazione sicura e a sostegno delle navi autonome in futuro.

In questo senso, lo studio raccomanda di usare sorgenti alternative di posizionamento al GNSS quali dead reckoning, e-Loran, Radar Absolute Positioning, Ranging da DGNSS/AIS/VDES (R-Mode), Satelles (STL) e LOCATA.

Requisiti di innovazione

[RQ.16] BENEFICI – I benefici introdotti dalla soluzione dovranno essere misurabili in relazione al contesto in cui sono applicati.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 98 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.17] EVOLUZIONE DELLA SOLUZIONE – la soluzione deve assicurare indipendenza nazionale ed europea, eccellenza ed eventuale unicità dal punto di vista scientifico, tecnologico, applicativo e di servizi; le prospettive di ritorno industriale saranno oggetto di valutazione.

[RQ.18] INNOVAZIONE – il contenuto di innovazione deve essere identificato e garantito in termini di algoritmi di processamento, decision making e monitoring processes e/o architetture realizzative efficaci e/o approcci innovativi di V&V al fine di ottenere benefici per tecnologia/applicazioni/servizi nei settori tecnologici presi a riferimento, rispetto allo stato dell’arte.

[RQ.19] CERTIFICAZIONE – LOCBM devono raggiungere il livello TRL 6, *ovvero deve essere fornito un prototipo di cui sono testate le funzioni critiche in ambiente marittimo reale*. Non è richiesta la certificazione per uso marittimo ma i dispositivi devono essere “certification ready” ovvero tutte le analisi preliminari per ottenere la certificazione devono essere state svolte, con particolare riferimento alla certificazione di sicurezza secondo lo standard applicabile.

Per installare su una imbarcazione che naviga su acque nazionali o internazionali un apparato GNSS sperimentale connesso alla rete di bordo, sono necessarie almeno le certificazioni CE, NMEA2K e Wheelmark.

Il sistema ASV dovrà essere pronto per le certificazioni marittime necessarie alla sua omologazione o autorizzazione all’ impiego.

Le analisi svolte nel progetto includeranno come minimo:

- a. Funzioni, interfacce e prestazioni
- b. Fabbricazione di apparecchiature
- c. Affidabilità, disponibilità, manutenibilità, sicurezza (RAMS)
- d. Altro come deciso del contraente

[RQ.20] ARCHITETTURA DI ASV- L’imbarcazione MASS di livello 4 (ASV) sarà fornita integrata con il LOCBM e con l’autopilota. Verrà fornito (o messo a disposizione come meglio descritto nel requisito successivo che descrive gli elementi della fornitura) il sistema di Guida Navigazione e Controllo (GNC) per ASV incluso il sistema ODA



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 99 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

(Object Detection and Avoidance). Gli altri componenti di ASV sono descritti nel requisito dedicato alla fornitura.

Il concetto di guida autonoma proposto deve poter funzionare autonomamente dopo la fase iniziale di preparazione o fino a quando un allarme è dichiarato nel caso in cui l'autonomia non può essere garantita o non è disponibile.

[RQ.21] DETEZIONE ED ELUSIONE DEGLI OSTACOLI – Recenti statistiche hanno dimostrato che il 60% delle vittime in mare sono causate da collisioni. È stato anche riscontrato che l'errore umano è un importante fattore che contribuisce a tali incidenti. Inoltre, è riportato che il 56% delle collisioni in mare includono violazione delle norme di navigazione. La stessa tragedia del Titanic è stata infatti il risultato della riluttanza dell'equipaggio a cambiare la velocità della nave come previsto dalle norme in materia di ostacoli avvistati. Tutto ciò premesso è stato emesso un codice di comportamento denominato COLREGs (1972). MSC 107 ha osservato che i requisiti della COLREGs (1972) sono pertinenti e applicabili sia alle imbarcazioni convenzionali che autonome.

Il contraente dovrà pertanto incorporare algoritmi di ODA (Object Detection and Avoidance) nel progetto del pianificatore per implementare le regole COLREGs e installare sensori adeguati (visuali, LiDAR, RADAR...) per il riconoscimento degli oggetti analogamente a quanto fatto nel modo aeronautico con il sistema ACAS.

Si ricorda che il RADAR marino è il sistema di percezione principale degli ostacoli a lunga distanza per la navigazione autonoma USV. Per soddisfare in tempo reale e preciso i requisiti di sistema del bersaglio radar marino, devono essere normalmente eseguiti i passi di “image smoothing”, “image segmentation” e “marine radar image labelling and feature extraction”. Si veda [Xing Ji et al., 2014] per una trattazione completa.

Per gli ostacoli ravvicinati si usano, invece, sensori visuali o LiDAR.

Un metodo semplice ed efficace per sensori visuali di tipo COTS può essere trovato in [Oren Gal, 2011] basato su una ripulitura iniziale, una riduzione dello spazio di ricerca, apprendimento dei modelli, pulizia morfologica, marcatura dei punti interessanti e correlazione temporale.

Altri metodi basati su reti neurali CNN possono essere adottati.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 100 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Per la detezione di piccoli oggetti presenti sulla superficie dell’acqua si consulti [Yuwei Cheng et al., 2021], laddove, considerando le limitazioni del rilevamento di oggetti basati sulla visione, si propone un nuovo metodo basato sulla fusione di immagini RGB e frame multipli del RADAR MMW per il rilevamento robusto di oggetti di piccole dimensioni (boe, scogli) sulla superficie dell’acqua. La fusione avviene tramite l’algoritmo “Radar-Image spatiotemporal fusion network (RISFNet)”.

Si suggerisce, a questo proposito, un benchmark basato sul Singapore Maritime Dataset (SMD). Questo set di dati fornisce video di tipo Visual-Optical (VIS) e Near Infrared (NIR) insieme con annotazioni per provare gli algoritmi di rilevamento e tracciamento di oggetti [Sebastian Moosbauer et al., 2019].

L’uso di SONAR per rilevare oggetti sommersi è consigliato.

Si assume che la posizione degli ostacoli sia sconosciuta e sia stata rilevata in tempo reale da un sistema visivo di bordo (Videocamera, LiDAR o RADAR a seconda della distanza). Altrimenti si possono usare metodi basati su AIS. In questo caso, si potrà eseguire una CRA (Collision Risk Assessment) con un motore fuzzy basandosi su parametri quali TCPA (time to the closest point of approach) e DCPA (Distance from the closest point of approach).

Per l’inclusione di ODA nel pianificatore si consideri dapprima il riferimento [Wasif Naeem et al., 2011 (a)].

Considerato il COR (Circle-of-Rejection) per la zona di rispetto attorno all’ostacolo (normalmente $COR = [2 * \text{la lunghezza di ASV}]$), sono stati qui descritti i seguenti due sistemi:

- Un semplice schema di aggiunta di una deviazione all’angolo di rotta nella tecnica di guida LOS verso il waypoint per non intercettare il COR.
- Un metodo basato sulla pianificazione del percorso in una griglia [A*], modificato per tener conto delle regole COLREGs 14 e 15 [DPSS (Direction Priority Sequential Selection)].

Altri metodi possono essere trovati in [Jing Wei et al., 2019], laddove si citano:

- Metodi basati sulla finestra di heading [Obstacle Avoidance Algorithm Based on Heading Window (OAABHW)], dove viene calcolata la finestra dinamica del veicolo, che è uguale al prodotto



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 101 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- cartesiano della finestra di velocità di rotazione e della finestra della velocità traslazionale, da cui ricavare il valore di heading ammesso.
- Algoritmo evolutivo, denominato insieme evolutivo delle traiettorie sicure della nave. Esso risolve il problema delle navi multiple in situazioni di mare aperto o acque soggette a restrizioni. (con modello di dominio con vincoli fissi).

Si consideri, inoltre, il metodo basato su APF (Artificial Potential Field) descritto nel requisito per l’attracco automatico di questo capitolato e il metodo basato su Visibility Graph (VG), laddove per ogni coppia di punti inter-visibili, è stata tracciata una linea retta che li collega non passando per un ostacolo [A Three-layered Architecture for Real Time Path Planning and Obstacle Avoidance for Surveillance USVs Operating in Harbour Fields, Casalino et al., 2009].

Tutto ciò premesso, sarà compito del contraente proporre il metodo migliore di ODA da includere nel pianificatore nel rispetto delle regole COLREGs.

Nell’implementazione delle regole COLREGs il contraente eseguirà un tailoring del regolamento per individuare i limiti di applicabilità al caso ASV, con particolare riferimento alle regole 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19.

[RQ.22] R-MODE – Le tecniche di tipo R-Mode (o Ranging Mode) consentono di disporre di una PNT alternativa a bordo e migliorare le prestazioni chiave del posizionamento (come accuratezza, integrità e sicurezza).

R-Mode (o Ranging Mode) è il termine utilizzato per i SoOPs che utilizzano segnali radio marittimi esistenti ovvero MF-DGNSS, AIS su VHF ed eLoran anche combinati per eseguire la trilaterazione con ToA usando trasmettenti fra loro sincronizzate.

Esso può coprire i requisiti di IMO resolution A.915(22) per le fasi di navigazione “Port approach and restricted waters” {accuratezza da 100 a 10 metri}.

Per avviare lo sviluppo di R-Mode, nel 2013 la Federal Waterways and Shipping Administration tedesca ha commissionato uno studio di fattibilità del modo R combinando vari segnali.

È stato dimostrato che, utilizzando il segnale differenziale GNSS (MF-DGNSS) alla frequenza di 200KHz, si possono raggiungere accuratezze dell’ordine di circa 12.5m 2DRMS con misure di fase



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 102 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

fino ad una distanza di 150 Km dal trasmettitore. [Gregory Johnson et al.,2020].

Dalle misure nel mar Baltico [R-Mode based positioning at the Baltic Sea, Michael Hoppe et al., 2020] l'accuratezza oscilla da 12 ai 64 metri e può essere migliorata fino a 10 metri per l'ingresso in porto, in aree selezionate, fondendo i dati VDES (VHF Data Exchange System) -TER (per comunicazioni ottimali fino ad una distanza di 10 NM).

Per quanto riguarda VDES (che incorpora le componenti VDE, AIS e ASM) si segnalano anche le soluzioni di PNT alternativa basate su comunicazione VDES-SAT.

Questo sistema è ancora in fase di studio (p.es. in orbita LEO a 600Km) ed ha il vantaggio della copertura globale ma ha anche minore capienza e maggiore latenza dei dati trasmessi rispetto a VDES-TER.

Sulla base di [Alexander J. Owens et al., 2021], l'approccio futuro più praticabile è uno scenario con un piccolo numero di satelliti VDE-SAT in R-Mode che integrano la funzionalità di ranging delle stazioni VDE-TER in porti e regioni costiere. Si può concludere che, con l'attuale tecnologia di determinazione dell'orbita e temporizzazione disponibile della costellazione VDS-SAT, il VDE-SAT R-Mode può essere classificato (al momento attuale), solo come un “sistema di contingenza” come definito nella raccomandazione IALA R-129.

Tutto ciò premesso, costituirà titolo di merito addizionale per l'innovazione la sviluppo di una delle tecnologie di tipo R-Mode sopra descritte.

[RQ.23] AUGMENTATION MARITTIMA – Nel caso di requisiti di accuratezza di navigazione inferiore al metro, si necessitano sistemi di augmentation che trasmettano le correzioni attraverso vari mezzi, WI-FI, VHF o satellite. La maggior parte delle navi utilizza attualmente il servizio DGPS marittimo (Differential Global Positioning System) come sistema marittimo per aumentare la precisione del ricevitore GNSS navale. La precisione delle informazioni sulla posizione delle navi ottenute dal sistema DGPS è di circa 1-2 m e non soddisfa le future esigenze della navigazione marittima in ambiente marino costiero.

In questo contesto, riveste particolare importanza l'uso di sistemi di correzione con misure di fase quale PPP e NRTK.

NRTK può essere usato in prossimità della costa e nei porti con baseline di 15-30 Km a frequenza singola.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 103 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Il servizio Precise Point Positioning (PPP) sarà, invece, utilizzato in mare aperto quando il servizio NRTK non è disponibile.

In particolare, la correzione di tipo NRTK potrà essere trasmessa via 4G/5G (3GPP Rel.15), o altri canali in VHF anche tramite l'impiego del canale VDES per coprire l'ultimo miglio di comunicazione.

In questo caso, per la mitigazione degli errori in modalità comune, i dati differenziali sono ricevuti su mezzo radio da una rete di stazione di riferimento e al fine di ottenere elevata precisione di posizione l'ambiguità del vettore di fase è stimata all'interno degli stati del filtro di fusione ed è risolta con l'algoritmo LAMBDA.

Particolare attenzione va riservata alle correzioni fornite in area portuale con rete NRTK, laddove si può dimostrare, [Jan-Jöran Gehrt et al., 2021], che l'accuratezza della stima dell'ambiguità è correlata all'accuratezza della stima dell'altezza rispetto all'ellissoide di riferimento. Nei porti, l'informazione accurata dell'altezza è peraltro disponibile sotto forma di livello del mare. Pertanto, l'integrazione dei dati del livello del mare nella stima dell'ambiguità nel filtro di navigazione, migliora significativamente il TTF (in media 1,5 sec) rendendolo quasi istantaneo.

Con questa informazione è stato dimostrato che si ottiene una precisione di posizione 3D inferiore a 40 cm, anche con frequenti interruzioni di connessione cellulare di diversi minuti. Invece, nelle fasi in cui si verificano interruzioni di pochi secondi, si ottiene una precisione di posizione 3D inferiore a 10 cm.

Con riferimento al VDES, si ricorda che esso espande il concetto di impiego laddove l' AIS non è in grado di fornire servizi di navigazione elettronica e altri servizi futuri, di cui l'aumento di precisione del GNSS è un servizio previsto per aumentare drasticamente la sicurezza della navigazione nelle acque costiere e per gli avvicinamenti ai porti.

Le capacità emergenti di VDES possono essere sfruttate per la trasmissione di dati NRTK di rete da terra a nave fino a 10 NM dal trasmettitore. La stazione base VDES si integra con un client NTRIP per l'acquisizione dei dati RTCM compatti dall'NRTK. La distribuzione della correzione RTK tramite VDES avviene su protocollo UDP multicast ed è adatta per installazioni portuali generiche.

L'unico accorgimento da seguire è di ridurre la banda occupata dalle correzioni. Infatti, a seconda del numero di satelliti visibili, la dimensione dei dati di correzione NRTK cambia istantaneamente e la velocità dei dati può quindi talvolta essere superiore a 1000 byte/s per stazione di riferimento da distribuire. Per soddisfare i requisiti VDES, è stata sviluppata, p.es., la Lantmäteriet Adjustment Solution

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 104 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

(LAS) che produce un flusso di dati di correzione che rispetta la limitazione di larghezza di banda di 650 byte/ s (uno slot per secondo) adottando criteri di selezione in base alla qualità dei satelliti/segnali (PDOP, elevazione, UERE) e fonde i dati di più VRS in un unico stream. [Samieh Alissa & Martin Håkansson et al., 2021].

Si richiede l'implementazione di un NTRIP client nel ricevitore LOCBM che usi il dato di altezza del mare per il TTFF. Il filtro di fusione potrà operare in modalità float mode, fix-mode o ibrido. Verrà implementato, inoltre, un sistema di detezione e correzione dei cycle-slip.

L'uso del canale VDES-TER (fino a 60 Km dalla costa) per la trasmissione delle correzioni sarà considerato titolo di merito aggiuntivo per la proposta.

L'uso delle correzioni di tipo PPP sarà considerato titolo di merito aggiuntivo per l'innovazione del progetto.

[RQ.24] APPLICAZIONE DI BASE DI ASV – L'applicazione di base di ASV richiesta in questo progetto è quella di un veicolo autonomo di superficie dedicato al monitoraggio degli inquinanti e/o alla batimetria in acque ristrette ovvero al trasporto.

Il tipo di localizzatore LOCBM richiesto è un localizzatore con fusione non lineare adattiva di GNSS con correzione da rete di augmentation, che includa almeno IMU, girobussola e DVL.

Per quanto riguarda l'architettura di LOCBM si rimanda alla Nota Tecnica richiamata nel requisito dedicato.

Sarà implementato l'algoritmo di detezione ed elusione degli ostacoli (ODA, Obstacle Detection and Avoidance) a norma COLREG e la relativa sensoristica di bordo.

Saranno inoltre implementati gli algoritmi GNC secondo le linee guida di questo capitolato.

Il veicolo sarà in grado di eseguire l'attracco in maniera automatica nel caso del trasporto urbano. A questo proposito si consideri come linea guida [Matthew Dunbabin et al., 2008], laddove il sistema di controllo dell'attracco basato sulla visione in tempo reale sia per oggetti fissi che mobili. Il sistema integra due processori; il primo esegue il controllo del veicolo e implementa una strategia di docking basata sulla forza virtuale, il secondo modulo invece esegue la segmentazione e tracciamento degli obiettivi basati sulla visione.

In particolare, il sistema di visione esegue i seguenti compiti:

(1) Segmentazione dell'obiettivo,



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 105 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- (2) correzione della distorsione delle lenti,
- (3) trasformazione dalle coordinate dell'immagine a quelle globali,
- (4) tracciamento robusto dell'obiettivo.

Per quanto riguarda il sistema di guida e controllo, in questo caso, si è implementato un algoritmo di guida del tipo APF (Artificial Potential Field), che include in modo semplice il rilevamento degli ostacoli, e un attuatore di tipo proporzionale per il momento rotazionale.

Si consideri, inoltre, [Alfredo Martins et al., 2007] dove viene affrontato il problema di attracco di un AUV verso un ASV. In questo studio il sistema visuale è in grado di stimare la posizione, velocità ed orientamento di AUV in avvicinamento tramite un filtro di Kalman a cinque stati e sulla base di questi dati esso è in grado di approssimare ASV usando una guida di tipo LOS utilizzando uno schema a stati discreti di manovra (prepare, approach, dock, align, lock, unlock, standby) con associati diverse leggi del controllo dei due propulsori.

Il contraente potrà scegliere le modalità di realizzazione dell'applicazione di base richiesta in questo requisito, prendendo come riferimento i tre esempi forniti di seguito denominati AB1, AB2 e AB3 ordinati per complessità crescente.

Gli esempi debbono essere interpretati come livello minimo di complessità e spetta al contraente proporre variazioni al progetto opportunamente giustificate.

La valutazione dell'applicazione di base, in termini di punteggio assegnato per l'innovazione, dipenderà dalla complessità e dall'efficacia delle soluzioni proposte per la classe di complessità prescelta.

AB1. Monitoraggio ambientale semplificato. In [Massimo Caccia et al., 2008] viene descritto il GNC del catamarano Charlie messo a punto dal CNR-ISSIA di Genova nel 2005 per il monitoraggio ambientale e la ricerca robotica marittima. Esso è un buon esempio di un sistema semplice ed efficace che può essere messo a punto dal contraente. Gli esperimenti condotti con Charlie hanno, in particolare, dimostrato che:

- a. Ai fini pratici, può essere usato semplice modello cinematico nel piano orizzontale trascurando pitch, roll e heave.*



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 106 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- b. Nel caso di Charlie, è stato ricavato il modello teorico generale idrodinamico del veicolo ed è stata verificata la coerenza e la qualità delle stime dei parametri con le misure raccolte nella navigazione. Come conclusione, poiché non è stato possibile determinare la velocità trasversale (sway) rispetto all'acqua e l'accoppiamento fra sway e surge, è stato usato un modello dinamico semplificato che mette in relazione l'angolo di timone e il rateo di rotazione dell'elica con l'accelerazione longitudinale e angolare.*
- c. Per quanto riguarda la Navigazione, il filtro Kalman esteso è stato usato efficacemente per stimare la posizione, la direzione e la velocità del veicolo sulla base delle sole misure del GNSS e della bussola e di un pratico modello dinamico per la stima della velocità del veicolo rispetto all'acqua.*
- d. Si è implementato un controllo a doppio loop, di cui quello interno controlla la velocità e quello esterno la traiettoria (PD con LOS).
N.B.: Nel caso di specie sotto-attuato, in alternativa si segnala [So-Ryeok Oh, JingSun, 2010], dove il controllo è unificato nel tipo MPC.*
- e. Per quanto riguarda il controllo della velocità tramite il timone e l'elica, si sono trascurati i disturbi esterni, la resistenza dovuta al timone e le asimmetrie longitudinali della nave così come la corrente del mare. In questo modello cinematico e dinamico semplificato a 1 DoF, una semplice legge di guida lineare PI a controreazione è efficace per seguire un percorso elementare costituito da una linea retta, che azzerava naturalmente gli errori statici introdotti dai disturbi della corrente di mare, in virtù della presenza di un integratore incorporato nel ciclo di controllo.*
- f. Come in molte applicazioni pratiche che richiedono la navigazione attraverso una sequenza di punti di passaggio (way-point), la semplice guida con linea di vista (LOS), basata sulla direzione del veicolo verso l'obiettivo e sulla distanza dalla linea dell'obiettivo, ha fornito prestazioni soddisfacenti, in particolare, dal punto di vista della scorrevolezza del movimento e dell'attività dell'attuatore.*

AB2. Monitoraggio ambientale completo. In [Wasif Naem, Robert Sutton, Tao Xu, 2011 (b)], viene descritto USV Springer. Springer è



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 107 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

un catamarano, alimentato a batteria con propulsione differenziale a basso costo dedicato al controllo ambientale e al tracciamento delle sostanze inquinanti.

Utilizza un collegamento WI-FI con il controllore remoto e include come sensori GPS, girobussole, DVL e un misuratore di profondità.

Inoltre, il pianificatore riceve anche dati della velocità del vento da un anemometro.

Springer ha un sensore dedicato per la misura di vari parametri ambientali quali la torbidità dell'acqua, l'ossigeno disciolto e il pH.

La guida utilizza i waypoint ovvero vengono tracciate le scie chimiche con guida di tipo LOS.

Per controllare il veicolo, sono impiegate la tecnica fuzzy LQG (Linear Quadratic Regulator) e un GA (Genetic Algorithm) -based MPC (Model Predictive Control).

AB3. Trasporto. In [Wei Wang et al., 2020], viene descritto ASV chiamato Roboat II per il trasporto. Roboat II è in grado eseguire lo SLAM. Il sistema SLAM proposto riceve i dati del sensore da un LiDAR 3D, un IMU e un GPS e utilizza il factor graph per affrontare il problema di fusione multi-sensore.

Per far fronte alla dinamica complessa in acqua, Roboat II impiega un controllore predittivo del modello non lineare online (NMPC).

Gli stati di Roboat II sono stimati simultaneamente usando un algoritmo di stima dell'orizzonte mobile non lineare (NMHE) che alimenta NMPC.

Roboat II è completamente attuato con quattro motori a getto su ogni lato ed è in grado di eseguire il controllo su 3 DoF.

Il GNC include un pianificatore del percorso e include metodi ODA.

Roboat II usa un middleware robotico ovvero Robot Operating System (ROS).

L'analisi idrodinamica è stata condotta con metodo CFD.

[RQ.25] GUIDA, NAVIGAZIONE E CONTROLLO (GNC) - Il sistema GNC è il nucleo fondamentale delle operazioni automatiche [Yuanyuan Qi et al., 2023] e dovrà essere fornito assieme a LOCBM e si compone dei sistemi di guida, navigazione, controllo e supervisione descritti nei requisiti seguenti.

[RQ.26] GUIDA - Sulla base delle informazioni sullo stato fornite dal sistema di navigazione, l'obiettivo della guida è quello di pianificare



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 108 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

e generare possibili percorsi dal punto di partenza alla destinazione con la capacità di evitare ostacoli e rispettare le regole marittime. La pianificazione del percorso può essere ulteriormente suddivisa in pianificazione globale (deliberativa) e locale (reattiva). La pianificazione globale del percorso mira a trovare un percorso ottimale senza collisione tra l'origine e destinazione in anticipo. La pianificazione del percorso locale richiede che ASV risponda all'ostacolo precedentemente sconosciuto e ad altri cambiamenti nell'ambiente.

L'algoritmo di pianificazione, si occupa di calcolare una traiettoria verso uno stato obiettivo desiderato che ottimizza una certa funzione obiettivo [p.es. consumo di energia e/o tempo di percorrenza] rispettando le proprietà del veicolo(i) [massimo raggio di curvatura, massima velocità e/o accelerazione], evitando collisioni con ostacoli e ripianificando il percorso locale in modo dinamico in risposta ai cambiamenti ambientali.

Alcuni dei criteri più utilizzati nella definizione della funzione obiettivo per ottimizzare il percorso:

- Lunghezza del percorso: lunghezza del percorso ottenuto (prima e dopo aver eseguito lo smussamento del percorso (smoothing)).
- Tempo di viaggio: tempo necessario per raggiungere la posizione obiettivo quando si percorre il percorso ottenuto.
- Scorrevolezza: collegamento ottimale dei waypoint prendendo in considerazione il limitato raggio di curvatura della nave. Ridotto numero di virate brusche o fluidità del percorso.
- Flessibilità: la praticità del percorso, soprattutto in ambienti dinamici quando alcuni waypoint devono essere rilocati durante il viaggio.
- Consumo di energia: il criterio che può essere influenzato da diversi altri fattori, tra cui la lunghezza del percorso, la velocità della nave o l'effetto delle correnti marine sulla nave,
- Precisione del percorso: la precisione del percorso progettato per collegare i waypoint.

Sarà considerata titolo di merito aggiuntivo per l'innovazione la capacità di Pianificazione Automatica dei Percorsi basata su dati meteo, schemi di separazione del traffico e regolamenti regionali sui tipi di carburante accettabili, utilizzando anche tecnologie di intelligenza artificiale (Advanced Intelligent Routing.).



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 109 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Generalmente, l'algoritmo di pianificazione del percorso definisce prima un numero di waypoint ordinati sullo spazio operativo che dovrà essere collegati sequenzialmente in modo da formare il percorso. Il collegamento dei waypoint può essere raggiunto in molti modi diversi, e ognuno comporta vantaggi e svantaggi.

Si citano:

- Collegamenti con rette
- Dubin o percorsi simili (rette con archi, clotoidi, spirali...)
- Polinomiali o spline

Seguendo [Zheng Zeng et al., 2015] si consiglia l'uso di rette con spirali di Fermat o B-Spline, ma rimane compito del contraente scegliere la soluzione più idonea.

Per una rassegna completa dei vari algoritmi di pianificazione del percorso e prevenzione della collisione si veda [Anete Vagale et al., 2020, prima parte] dove sono stati esaminati 45 lavori sull'argomento e [Daoliang et al., 2018].

Si segnalano i seguenti tipi di pianificatori:

- Metodi di ricerca del grafo [Dijkstra, A*, D*, D* Lite, Fast Matching (FM), Level Set Method (LSM)]. Schema classico, semplice e maturo basato sulla ricerca a griglia con transizioni di stati discreti e ottimizzazione del percorso. È il termine di paragone per tutti i pianificatori. Può trattare la direzione e altezza delle onde e l'elusione degli ostacoli. Possono essere implementate così le raccomandazioni di IMO, per le quali, il surf-riding e l'accoppiamento del moto di rollio con le onde dovrebbero essere evitati perché possono causare il ribaltamento dei veicoli [Jing Wei et al., 2019]. Si tratta di una ricerca con modello geometrico e programmazione ottima discreta. Si ricorda che il metodo A* è il metodo di ricerca che fornisce il percorso più breve in una rete stradale statica e trova applicazione anche nel campo marittimo per calcolare il percorso ottimo fra due punti.
- Metodi di ricerca ad albero. Si tratta di metodi di campionamento probabilistico dello spazio di percorso e includono RRT (Rapidly exploring Random Tree) e PRM (Probabilistic Roadmap). Il PRM costruisce una mappa dello spazio da percorrere in funzione della distanza e della direzione e trova il percorso migliore con tecnica A* o derivate. RRT usa un metodo speciale di ricerca nell'albero di possibilità che accelera la ricerca ma può essere soggetto a soluzioni dovute a minimi locali (ma vedi RRT*). Si tratta di schemi classici di



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 110 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

campionamento, veloci ed efficaci e anche con spazi di configurazione ad alta dimensione anche in presenza di ostacoli, sono completi dal punto di vista probabilistico ma le soluzioni possono essere sub-ottimali e richiedere ulteriori raffinamenti.

- APF (Artificial Potential/Virtual Field). La premessa di base di questo algoritmo è quella di costruire una funzione potenziale, in cui gli ostacoli generano forze repulsive, i punti bersaglio producono forze attrattive e la dimensione e la direzione della forza risultante guida la velocità e la direzione del movimento del robot. Esso è ottimo per eludere gli ostacoli, è veloce ma sensibile ai minimi locali.
- Algoritmi intelligenti. Mentre i metodi deterministici di solito possono trovare il percorso ottimale essi assumono che le informazioni globali considerate siano sempre disponibili. Tuttavia, in realtà, è difficile ottenere un'informazione globale completa ovvero essa cambia in modo dinamico. Si possono, quindi, usare intelligenti quali GA (Genetic Algorithm), PSO (Particle Swarm Optimization), QPSO (Quantum-behaved particle swarm optimization), ACO (Ant Colony Optimization), Wolf Pack Algorithm (WPA), Simulated Annealing Algorithm (SA), Differential Evolution (DE), Artificial Neural Network (ANN). Essi sono algoritmi robusti, pratici in problemi con alta dimensionalità, ma possono essere lenti nel convergere ovvero convergere ad una soluzione non ottimale entro un tempo finito.
- Altri, a discrezione del contraente.

Si nota che in [Mehmet Fatih Ozkan et al., 2019] vengono comparati i metodi A*, GA e PRM in un'applicazione di salvataggio in zona alluvionata con UAV e ASV.

I risultati dimostrano che la pianificazione del percorso PRM dà il percorso più breve con migliore tempo di calcolo rispetto agli algoritmi A* e GA.

Di particolare rilevanza nel progetto del sistema di guida l'approccio a due livelli di pianificazione: globale e locale.

A questo proposito si raccomanda l'approccio di pianificatore descritto in [Jacoby Larson et al., 2006], dove è stato adottato un approccio a due livelli per evitare gli ostacoli, costituito da un componente ODA (reattivo) nel campo vicino e da un componente



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 111 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

ODA per il campo lontano (o deliberativo) che operano simultaneamente e in collaborazione tra loro.

La componente deliberativa si integra nel pianificatore di percorso (con algoritmo di pianificazione A*) che riceve dati da un server cartografico e radar e modifica continuamente il percorso con waypoint esistenti nel caso di ostacoli rilevati con i sensori a lungo raggio.

Essa si basa su una mappa degli ostacoli stazionari ricavati dal server grafico e degli ostacoli in movimento forniti dal radar sotto forma di Automated Radar Plotting Aid (ARPA).

Per evitare gli ostacoli dinamici si usa il metodo della velocità (Velocity Obstacle (VO)), si veda questo proposito [P. Fiorini and Z. Schiller, Motion planning in dynamic environments using the relative velocity paradigm, 1993].

Questo algoritmo trasforma un ostacolo in movimento in uno stazionario considerando la velocità relativa e la traiettoria dell'USV rispetto all'ostacolo. Viene prodotta un'area di collisione (chiamata ostacolo di velocità) definita usando il vettore di velocità relativa e la direzione, che rappresenta l'ostacolo in uno spazio accresciuto, mentre USV viene trattato come punto materiale.

Qualora il pianificatore non riesca a trovare un percorso idoneo secondo il metodo dell'ostacolo di velocità, viene creata un'area di ostacolo proiettata (POA), che è l'area in movimento che l'ostacolo potrebbe occupare in futuro e verificata se viene raggiunto il “closest point of approach (CPA)”, che rappresenta la distanza minima tra i due veicoli nel tempo lungo i rispettivi percorsi.

CPA in [Riccardo Polvara et al., 2016] è impostato a 250 metri.

Il POA è aggiornato dinamicamente e genera movimenti di scartamento secondo le regole COLREGs.

La componente ODA deliberativa non garantisce, tuttavia, l'elusione degli ostacoli, per molteplici motivi: 1) USV può inavvertitamente deviare dal percorso pianificato se il GNSS è bloccato o l'unità di navigazione inerziale (IMU) è in deriva; 2) i sensori a lungo raggio non sono in grado di rilevare piccoli ostacoli a bassa sezione radar come imbarcazioni private molto piccole; 3) la componente ODA deliberativa è utile solo se l'USV è in modalità waypoint navigation.

In questi casi, è necessario attivare la componente reattiva di ODA.

Il componente reattivo ODA è responsabile di evitare gli ostacoli in stretta prossimità al veicolo, usando i dati dei sensori a corto raggio



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 112 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

(visivo e LIDAR) e intercetta comandi di guida dal navigatore e li modifica prima di inoltrarli all’attuatore.

Nel caso di specie si usa l’algoritmo Morphin (usato in Mars rover), che si basa su approccio comportamentale e una ricerca sull’insieme dei percorsi possibili ponderati. Secondo questo algoritmo un certo numero di archi è proiettato davanti al veicolo nella mappa circostante il rover e contenente gli eventuali ostacoli. Il numero di archi considerati è una funzione della dimensione della mappa e della spaziatura della griglia, con gli archi spazati in modo tale che un arco passa attraverso ciascuna delle celle esterne. Ad ogni arco viene dato un peso (cioè, un voto) in base alla distanza che il veicolo potrebbe percorrere lungo quell’arco prima di incontrare un ostacolo. Gli archi più lunghi sono ponderati in modo più favorevole rispetto agli archi più brevi o archi che sono bloccati.

Tutto ciò premesso, rimane compito del contraente scegliere la soluzione del pianificatore generale e locale più idonea.

La qualità dell’algoritmo prescelto sarà valutata in base ai seguenti parametri:

- Conformità alle prescrizioni COLREGs
- Immunità ai disturbi ambientali (correnti, venti e onde)
- Tipo di ostacolo (fisso, dinamico o multiplo)
- Tipo di azione evasiva (cambio di direzione, velocità o entrambi) in presenza dell’ostacolo
- Categoria di traffico (acque congestionate, aperte, fluviale o costiere)
- Modello dinamico (massima velocità di virata della nave, minimo raggio di curvatura della virata, velocità massima della nave, vincolo costituito dal movimento dell'altra nave coppia della nave, ecc.)
- Prevedibilità dell’ambiente (ambiente conosciuto o sconosciuto)
- Pianificazione: in tempo reale (online) o offline
- Tipo di pianificatore (globale e/o locale)
- Zone sicure (margine di sicurezza, zona di sicurezza virtuale intorno alla nave, cerchio di rifiuto (COR) intorno alla propria nave o agli ostacoli statici/dinamici...)
- Tipo di test (simulazione, prova sul campo o entrambi)
- Tipo di controllo (singolo o per veicoli multipli)



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 113 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.27] NAVIGAZIONE – Il sistema di Navigazione consente la valutazione completa dello stato del veicolo e dei suoi dintorni basandosi sui dati dei sensori. Comprende un processo di percezione ambientale per la misurazione dell’ambiente circostante, come onde, venti, oggetti e ostacoli in superficie.

Include, inoltre, la stima dello stato corrente di ASV (PVA) data la sequenza di misurazioni e un modello cinematico del sistema.

Si rimanda al requisito di LOCBM per la definizione del localizzatore di bordo.

Una funzione essenziale del modulo di Navigazione è anche il riconoscimento per consentire l’aggiramento degli ostacoli (ODA). Con riferimento allo studio Maritime-AI NAV (NAVISP-EL1-020), per quanto riguarda la percezione dei possibili ostacoli si raccomanda una fusione a due livelli:

- Fusione per gli obiettivi a lunga distanza [$1 < d < 8\text{NM}$] (GNSS, AIS, RADAR,)

- Fusione per gli obiettivi a breve distanza [$d < 1\text{NM}$] (GNSS, LiDAR, AIS, microfoni, stereo-videocamera)

Da questo studio risulta, inoltre, che la videocamera stereo risulta non competitiva con il RADAR e AIS in mare aperto, mentre è possibile un suo uso in un ambiente ristretto quale il docking.

[RQ.28] CONTROLLO - Questo modulo determina le necessarie forze di controllo affinché una nave segua il percorso impostato dal pianificatore, considerando lo stato attuale della nave rilevato dal sistema di navigazione e dagli altri sensori di percezione. Viene generata una traiettoria planare fattibile per raggiungere il waypoint (o l’obiettivo) che prende in considerazione i limiti dell’angolo di virata e i limiti di velocità e accelerazione della nave.

Nel caso di veicoli pienamente attuati è anche possibile eseguire il tracciamento della traiettoria (costituita da punti geometrici associati ad un particolare istante).

Uno dei compiti principali del sistema di controllo è il monitoraggio della traiettoria (o percorso) che minimizza l’errore di tracciamento impostando i comandi di comando corretti sugli attuatori.

Nel caso semplificato, si può considerare il caso di ASV con un controllo di tipo sotto-attuato, ovvero controllo della velocità longitudinale tramite l’elica e controllo della direzione tramite il timone (ovvero una coppia di propulsori) (2 DoF) invece di 3DoF controllabili (surge, sway e yaw) per movimento planare in presenza di vincoli non-olonomici.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 114 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Attualmente, i principali metodi di attuazione di un ASV includono:

- a. Linea di vista (LOS). Il metodo line-of-sight (LOS) (o guida parallela, o guida a tre punti) è una tecnica di guida di successo che è ampiamente utilizzata nella guida missilistica, ma è ugualmente valida per il controllo di ASV. Nel metodo LOS la prua della nave viene routata verso il way-point agendo sul timone [Xinhua Tang et al., 2019]. Ci sono anche versioni modificate per migliorare l'implementazione in tempo reale, come il biased-LOS. Nonostante ciò, ci sono ancora svantaggi associati a LOS, tra cui: (1) il possibile superamento del waypoint, causato dalle azioni di compensazione delle perturbazioni ambientali, e (2) la connessione tra i waypoint sono comunque linee rigide, anche se i percorsi possono essere smussati in una certa misura. Per i sistemi AUV, ma soprattutto UUV, trova anche applicazione il metodo di Proportional Navigation (PNG) [W. Naeem et al., 2003].

Dal 1950 la legge PNG è stata utilizzata praticamente in tutti i radar tattici del mondo, i missili a infrarossi e video-guidati poiché è la tecnica più comune ed efficace in caso di obiettivi non-manovranti rendendo la velocità angolare dell'obiettivo proporzionale al rateo della LOS e riducendo così i tempi di intercettazione.

- b. Metodi classici di controllo a controreazione (FL, PID, LQR, LQG, LDM). Essi semplificano il modello dinamico complesso e facilitano la regolazione dei parametri di controllo.
- c. Il controllo predittivo (MPC, NMPC). L'algoritmo di controllo predittivo è conveniente per rispondere alle varie condizioni di vincolo (p.es. saturazione per yaw rate e surge speed), al prezzo di un maggiore onere computazionale. Con riferimento a [A SK Annamalai, A Motwani, 2013], gli autopiloti LQG e MPC vengono confrontati per l'uso in GNC di un USV usando il filtro Kalman per fornire le stime di navigazione e il sistema di guida della linea di vista come riferimento. La conclusione è che MPC è chiaramente migliore rispetto a LQG considerando i parametri di prestazione utilizzati. Quindi l'MPC è consigliato come



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 115 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

pilota automatico adatto per ASV rispetto a LQG e consente di tener conto dei vincoli dinamici rispetto a LOS.

d. Metodi robusti. Recentemente sono sorte nuove tecniche per i veicoli robotici marittimi che trattano la presenza di complessi disturbi esterni e le incertezze dei modelli. Di seguito si citano i più rilevanti:

- I. Controllo di tipo fuzzy. Contro le incertezze del sistema e disturbi sconosciuti (vento, onde correnti e così via), l'approccio di progettazione di controllo fuzzy-based è stato ampiamente utilizzato dando una serie di risultati eccellenti.
- II. Reti neurali. Le reti neurali hanno un'eccellente abilità di approssimazione dell'ambiente marino. In letteratura, tre tipi di reti neurali sono stati impiegati per il controllo dei veicoli marini: reti neurali radiali, reti neurali multistrato e reti neurali convoluzionali.
- III. Controllo dinamico di superficie (DSC). La strategia di controllo dinamico di superficie introduce filtri del primo ordine ed evita il calcolo delle derivate dei segnali del controllo virtuale, semplificando il progetto dei controllori.
- IV. Backstepping Control (BC). Backstepping è un metodo di controllo basato sull'idea di compensazione, che decompone il sistema dinamico complesso in sottosistemi più semplici, e quindi lo può controllare indirettamente introducendo variabili di controllo virtuali. Come esempio dell'uso del backstepping si veda [Marco Bibuli, Massimo Caccia, Lionel Lapierre, 2007], in cui la tecnica di path following di tipo geometrico nel riferimento di Serret-Frenet viene accoppiata con successo con un controllo dinamico con la tecnica di backstepping per ASV sotto-attuato.
- V. La modalità di scorrimento (sliding mode control, SMC). Negli ultimi anni, il metodo di controllo della modalità a scorrimento ha ricevuto una vasta attenzione da parte degli studiosi a causa della sua insensibilità e robustezza alle variazioni dei parametri di stato.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 116 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

e. Altri proposti dal contraente (modello predittivo dello stato, disturbance-observer-based control, extended-state-observer-based control...).

Per una lista completa dei metodi di attuazione il contraente può consultare [Zhixiang Liu et al., 2016] e [Hamid Reza Karimi, Yanyang Lu, 2021].

Per il controllo del moto di sistemi sotto-attuati (due propulsori o un propulsore e il timone) si veda i metodi in letteratura quali “auxiliary variable method” o “transverse function approach” [Zhouhua Peng et al., 2020].

Oltre alla scelta del metodo è fondamentale la definizione del modello cinematico e dinamico del veicolo.

Si consulti [Hamid Reza Karimi, Yanyang Lu, 2021] per la descrizione dei tre modelli nel caso sotto-attuato, pienamente attuato e sovra-attuato.

Il modello può essere concepito da un punto di vista analitico (anche con analisi CFD) e provato con simulazione. Si consideri a questo proposito il riferimento al modello del Maneuvering Modeling Group (MMG) [H. Yasukawa, Y. Yoshimura, 2015] come linea guida.

Si raccomanda, in ogni caso, la verifica della sua accuratezza anche con prove sul campo.

Si consulti, come esempio, [W Naeem et al., 2007], laddove si applica la tecnica di “System Identification and modelling” (SI) a USV Springer, applicando una serie di sequenze di comandi ai due propulsori e registrando l’angolo di heading in presenza dei disturbi.

Si consulti anche [Massimo Caccia et al., 2008], dove l’obiettivo è di definire un modello pratico e la relativa procedura di identificazione, tramite simulazione, della guida e controllo di una classe di veicoli a basso costo. Il lavoro è supportato dalle prove estese in mare effettuate con il prototipo di catamarano autonomo Charlie2005.

È compito del contraente proporre il tipo di controllo prescelto (pienamente attuato, sovratuato o sotto-attuato), il modello cinematico e dinamico prescelto del veicolo e l’algoritmo GNC prescelto.

[RQ.29] SUPERVISIONE –Il sistema di supervisione consente di visualizzare i dati del veicolo e la traiettoria (p.es. la posa del veicolo, egomotion, i piani di movimento e i veicoli tracciati). Contiene



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054
Revisione: A
Data: 09-10-2023
Pagina: 117 di 140
Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

un’interfaccia MMI per il caricamento della missione, il suo avvio o l’arresto. Il sistema ha, inoltre, un data-logger che raccoglie i dati di missione per le analisi post-missione e in particolare per consentire il calcolo della statistica dello scostamento laterale rispetto al ground truth e del profilo di velocità longitudinale. Include, infine, il sistema di sicurezza con recupero del controllo dei comandi sia in locale che da remoto.

[RQ.30] CONTROLLO DEL MOVIMENTO – Gli scenari di controllo del movimento dipendono dall’ applicazione che ASV deve implementare.

Di seguito alcune possibilità:

- a. *Stabilizzazione del punto di stazionamento.* Una nave dovrebbe essere in grado di fermarsi vicino all'attracco punto a bassa velocità; ma questo è uno dei problemi più difficili nel controllo automatizzato della nave, perché è quasi impossibile considerare tutte le situazioni possibili durante l'ormeggio a causa dell'influenza di imprevedibili perturbazioni ambientali, soprattutto per controllo sotto-attuato (2 DoF). Nel caso estremo si ha una drastica riduzione della manovrabilità della nave, quando il segnale di movimento della nave e il rumore sono quasi gli stessi, rendendo difficile regolare l'angolo del timone.

L'obiettivo è posizionare e mantenere una determinata posizione e direzione di prua soggetto a influenze persistenti di perturbazioni marittime che variano nel tempo. Per ASV con controllo sotto-attuato, si può ottenere solo controllo discontinuo o regolarizzato ma variante nel tempo se tutte e tre le coordinate devono essere stabilizzate.

Un controllo completo è possibile per le navi tradizionali solo con il sistema di ormeggio di posizione assistito da propulsore (PM) per sistema ancorato e il sistema di posizionamento dinamico (DP) per il freefloating come nel caso di “production offloading and storage (FPSO)” [Mou Chen et al., 2012].

- b. *Tracciamento del bersaglio (target tracking).* L'obiettivo è quello di tracciare il movimento di obiettivi statici o dinamici senza conoscere le informazioni future sul moto del bersaglio. I vincoli spazio-temporali correlati devono essere considerati contemporaneamente. Nel caso in cui si voglia ridurre a zero la

**Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”**

- distanza reciproca si ricade nel punto seguente. Se l'obiettivo è statico si ricade nel caso di stabilizzazione del punto.
- c. *Tracciamento della traiettoria (trajectory tracking)*. Questo si riferisce alla capacità di seguire un percorso specificato alla velocità di avanzamento desiderata con un vincolo temporale. Pertanto, è possibile considerare i vincoli spazio-temporali relativi all'obiettivo separatamente. Si veda come esempio [A. Pedro Aguiar et al., 2007 dove si espone la progettazione di un algoritmo di controllo di supervisione adattivo che combina la tecnica di commutazione logica con tecniche iterative basate su Lyapunov (integratore con backstepping)].
- d. *Inseguimento del percorso (path following, detto anche path keeping o course keeping)*. L'obiettivo è quello di seguire un percorso predefinito con velocità costante in presenza solo di un vincolo spaziale. Gli algoritmi di path following devono definire, calcolare e ridurre a zero la distanza tra il veicolo e il percorso, nonché l'angolo tra il vettore che rappresenta la velocità della nave e la tangente al percorso desiderato.
- e. *Manovra*. È un sottoinsieme del punto precedente. L'obiettivo della manovra è di guidare lo ASV lungo un percorso predefinito, mentre il controllo della velocità può essere affrontato come compito separato. Il problema della manovra può essere diviso in compiti geometrici e dinamici. Il primo è simile al tracciamento del percorso e il secondo assegna un tempo, velocità, o accelerazione lungo il percorso.

Si richiede che l'ASV di questo progetto sia in grado come minimo di eseguire l'inseguimento del percorso, anche con comando sotto-attuato.

Sarà, comunque, compito del contraente stabilire gli scenari operativi che ASV è in grado di gestire.

A supporto dell'applicazione implementata il contraente implementerà il tipo di controllo del movimento necessario.

[RQ.31] ELEMENTI DI FORNITURA – Verrà fornito un sistema di LOCBM basato sul GNSS integrato con altri sensori e il sistema GNC dell'imbarcazione autonoma nonché la nave ASV equipaggiata per il test nel caso reale, completa di scafo, motore, attuatori, sorgente di energia elettrica e sistema di comunicazione con la terra. Questi due ultimi elementi sono funzionali all'esecuzione di prove rappresentative anche se non costituiscono l'obiettivo del progetto.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 119 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

È ammissibile la fornitura degli algoritmi GNC anche protetti da B-IPR e in modalità solo eseguibile. Nel caso tali algoritmi vengano sviluppati in modo specifico per il progetto e ne venga fornita la F-IPR, questo costituisce titolo di merito aggiuntivo per l'innovazione.

L'ambiente di simulazione sarà fornito al committente, eventualmente coperto da B-IPR.

È richiesto una secondo esemplare di LOCBM con il suo ambiente di sviluppo e test da installare nel costruendo Centro Nazionale di Competenze GNSS di proprietà dell'ASI.

L'imbarcazione di tipo ASV dovrà comprendere almeno i seguenti elementi:

- Lo scafo; potrà essere a scafo singolo (kayak e monoscafo) e multiscafo (catamarani e trimarani). Lo ASV avrà lunghezza massima di 24 metri [MASS UK Industry Conduct Principles and Code of Practice].
- Propulsione; il controllo potrà essere in modo sottoattuato o completo (o sovra-attuato). Il sistema comprende un insieme di eliche o un motore a getto d'acqua ed eventualmente il timone
- Sistema di comunicazione; p.es. WI-FI, UHF, 5G, Iridium. Sulla base di [(MASS) UK Industry Conduct Principles and Code of Practice] devono essere forniti i sistemi di comunicazione RF che sono tenuti ad esercitare il livello di controllo richiesto o sono necessari per abilitare la funzionalità di arresto di emergenza. Riveste primaria importanza l'uso di un collegamento sicuro per garantire le manovre in sicurezza, la conoscenza completa della situazione operativa e la tolleranza al guasto. La scelta della banda di frequenza è a carico del contraente (p.es. ISM a 868 Mhz) [Artur Zolich et al., 2018].
- Sensoristica; comprende tipicamente GNSS, IMU, RADAR, SONAR, DVL, Videocamera e giro bussola e altro sensore in dipendenza del tipo di missione (p.es. sensore a infrarosso per condizioni di oscurità e rilevamento di naufraghi). Si segnala che il SONAR è vantaggiosamente utilizzato per rilevare immagini subacquee ed è più adatto rispetto ai sensori ottici che sono limitati dalla distanza di ripresa (Side Scan Sonar e Synthetic Aperture Sonar). Inoltre, i sistemi sonar possono essere utilizzati per rilevare ostacoli subacquee e potenziali pericoli, che possono aiutare a prevenire incidenti e danni al veicolo. I due tipi principali di sonar utilizzati nei sommergibili senza equipaggio sono front-looking sonar (FLS) e side-scan sonar (SSS).



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 120 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- GNC (Guida, Navigazione e Controllo); software installato su un computer di bordo, che elabora i dati raccolti per la rappresentazione dell’ambiente circostante e dello stato dell’imbarcazione, pianifica il percorso possibile e guida il veicolo di superficie alla destinazione.
- Antenne – Saranno fornite una o più antenne omnidirezionale GNSS (come meglio descritto nel requisito dedicato) e l’antenna di comunicazione (satellitare, VHF, ...) con il ROC.
- Sistema di controllo remoto; Nel progetto del MASS 4 si terrà conto dei risultati del gruppo di lavoro IMO congiunto MSC/LEG/FAL, che è stato istituito nel 2022 come referente trasversale per affrontare le questioni comuni identificate dagli esercizi di scoping normativo per l'uso di MASS [RSE] e riconfermati nel Maritime Safety Committee (MSC 107, 9 giugno 2023) di IMO. In particolare, il MASS ASV sarà dotato di un controllo remoto [Remote Operations Centre (ROC) ovvero una posizione remota dal MASS che può operare su alcuni o tutti gli aspetti delle funzioni del MASS.

Sulla base del riferimento [(MASS) UK Industry Conduct Principles and Code of Practice] Il ROC eserciterà le seguenti funzioni

- Operation Planning
- Operation Control
- Post Operation Analysis

Il ROC può essere situato sia a terra, sia su un’altra nave o su piattaforma galleggiante", e tiene conto che:

- Ci sarà sempre un essere umano responsabile del MASS, indipendentemente dal modo di funzionamento o al grado o al livello di autonomia.
- Il responsabile non è a bordo.
- Indipendentemente dal modo di funzionamento o grado o livello di autonomia, il responsabile di una MASS deve avere i mezzi per intervenire quando necessario.
- Uno stesso responsabile può gestire MASS multipli allo stesso tempo, in determinate condizioni.

[RQ.32] ANTENNE GNSS – Sarà fornita l’antenna omnidirezionale GNSS adatta per sistemi marittimi. Un sistema di doppia antenna può essere implementato per il calcolo dell’assetto in aggiunta al dato della IMU.

L’ antenna dovrà rispettare le seguenti caratteristiche generali:

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 121 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<ul style="list-style-type: none">• Larghezza di banda adeguata a ricevere segnali multicostellazione e multifrequenza• Alto rapporto di ricezione fra il segnale RHCP e LHCP• Ridotto PCV (Phase Centre Variation)• Capacità di filtraggio delle interferenze fuori banda• Bassa figura di rumore e alto guadagno <p>[RQ.33] CSWAP – Considerando la necessità di imbarcare la strumentazione a bordo del veicolo, la ridotta complessità dello strumento in termini di Cost, Size, Weight, and Power (CSWaP) è considerata fattore di merito del progetto.</p>
Requisiti di validazione	<p>[RQ.34] PIANO VERIFICA E VALIDAZIONE- Dovranno essere selezionati metodi di test opportuni per la dimostrazione del TRL finale della soluzione sviluppata, in accordo con la normativa ECSS (e.g. test di laboratorio, test funzionali, etc.) e/o utilizzando le normative nazionali ed europee applicabili.</p> <p>Il piano di prova deve comprendere diverse prove sul campo in scenari portuali (ad es. avvicinamento al porto, in porto, navigazione, attracco) secondo lo scenario operativo prescelto. Il piano di prova deve coprire combinazioni di diversi fattori che influenzano/ degradano la soluzione di PNT (ad esempio tipo di nave, tipo di antenna, montaggio dell'antenna, tipo di porto, stato di mare, ecc.).</p> <p>Il documento deve presentare la campagna di test del ricevitore GNSS marittimo LOCBM e definire i casi di test che copriranno come minimo i seguenti KPI:</p> <ul style="list-style-type: none">• Accuratezza di posizione (latitudine, longitudine) sia in condizioni statiche che dinamiche,• accuratezza del tempo,• COG e SOG nelle differenti condizioni dinamiche,• heading, ROT, CTW, STW (ovvero PNT di grado IV completa per stabilizzazione del punto nave in 3D)• tempo di (ri)acquisizione (warm e cold start),• sensibilità,• robustezza contro le interferenze (come minimo controllo della precisione e disponibilità della posizione, TTFF e tempo di ri-acquisizione valutati con interferenza a CW, a banda stretta/ larga e con interferenza pulsata),• robustezza contro spoofing,

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 122 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- supporto RAIM con calcolo di FDE e PL,
- Disponibilità della soluzione PVT
- disponibilità NMEA e RINEX.

Si veda a questo scopo il rapporto di test sui ricevitori marittimi di Galileo della GSA [Gioia C. Cucchi L., 2020].

A questo scopo il contraente proporrà un opportuno tailoring degli standard IEC 61608-3 (Galileo), IEC 61608-1 (GPS) e IEC 60945 (Generale) nelle ultime versioni pubblicate.

Oltre al test specifico di LOCBM, sarà verificato il buon funzionamento di USV in modo end-to-end verificando almeno:

- la correttezza della pianificazione della traiettoria in termini di waypoint raggiunti, deviazione media (cross-tracking error), energia media, tempo e distanza di percorrenza.
- la correttezza dell’attuazione in termini di angolo di timone e numero di giri dell’elica (commanded throttle e commanded rudder ovvero differential thrust) in base all’ errore fra velocità e direzione comandati e ottenuti.
- controllo dell’eventuale presenza di valori fuori limite dinamici (p.es. per saturazione dello yaw rate e surge speed).
- la corretta identificazione ed elusione degli ostacoli.
- La corretta esecuzione della manovra di attracco, di inseguimento dell’obiettivo o stazionamento (ove applicabile) tramite calcolo dell’errore di posizione/assetto rispetto al punto desiderato o tramite l’errore di tracking del bersaglio.

[RQ.35] TAILORING ECSS – Considerando gli standard ECSS, il piano di verifica e validazione dovrà essere formulato sulla base di opportuno tailoring dello stesso.

[RQ.36] MODELLI – Sulla base del TRL obiettivo e coerentemente ad esso, dovranno essere definiti e realizzati i modelli e/o scenari opportuni per effettuare le attività di verifica della soluzione finale.

[RQ.37] SIMULATORE – Il contraente simulerà le condizioni operative tipiche in laboratorio prima di eseguire le prove sul campo, simulando le costellazioni GNSS, la traiettoria e il canale di propagazione. Si procederà ad eseguire un test end-to-end del veicolo autonomo in uno scenario simulato.

La prova con scenario simulato sarà condotta in due livelli:



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 123 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

	<ul style="list-style-type: none">• Software-in-the-Loop (SiL). SiL è ideale per il software. analisi della stabilità del software e l'indagine del comportamento predittivo e di pianificazione.• Hardware-in-the-Loop (HiL). Questo ambiente permette di simulare la pila completa di funzioni software inclusa la percezione, i sensori e gli oggetti in movimento). In particolare, i modelli del GNSS e degli altri sensori sono integrati nella simulazione dinamica del veicolo e inviati al computer reale del veicolo tramite specifico protocollo. <p>[RQ.38] AMBIENTE DI TEST - Le caratteristiche dell'ambiente di test dovranno essere l'involuppo delle caratteristiche ambientali per cui la soluzione è progettata. Saranno definiti i casi di utilizzo delle prove e il loro rispettivo ambiente (ad es. approccio portuale, navigazione portuale, stato di mare, tipo di porto, ecc..) per la dimostrazione di LOCBM inserito nell'architettura di nave autonoma, Saranno inclusi scenari simulati e test reali in tempo reale al fine di convalidare l'approccio proposto.</p> <p>LOCBM dovrà essere testato, in particolare, nei casi di accuratezza di tipo 3 di navigazione SOLAS, quali casi rappresentativi di ambienti portuali, Inland Waterways navigation (IWW) o in Restricted Waters-Traffic Separation Schemes (TSS).</p> <p>[RQ.39] ESECUZIONE DEI TEST – Le attività di test dovranno essere eseguite secondo quanto stabilito dal piano di verifica e validazione e della documentazione applicabile (i.e. procedure); il contraente assicurerà ad ASI la completa visibilità delle attività di test e dei suoi risultati (i.e. test report, post test analysis).</p> <p>L' esecuzione di test con MASS devono rispettare le raccomandazioni per i test di imbarcazioni autonome secondo le raccomandazioni della CE [VTMIS 2020, con particolare riferimento to Anne I (Content of Application, incluso il Test Plan) e II (Risk Assessment)] e di IMO [MSC.1/Circ.1604], nel rispetto della direttiva VTMIS 2002/59/EC.</p>
Requisiti aggiuntivi	<p>[RQ.40] ALTRE APPLICAZIONI DI ASV – Al fine di dimostrare le capacità applicative degli ASV e coerentemente ai campi applicativi declinati nella sezione di contesto di questo documento, il contraente potrà sviluppare, oltre alla capacità base descritta nel requisito dedicato, anche una o più delle seguenti applicazioni:</p> <ol style="list-style-type: none">I. <i>Green and Smart Ports</i>. Sarà sviluppata un'applicazione per il controllo del traffico portuale con navi autonome.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 124 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- II. *Security*. Sarà sviluppata un'applicazione di sorveglianza marittima e riconoscimento di obiettivi anche non cooperativi.
- III. *Safety*. Sarà sviluppata un'applicazione di SAR che utilizza ASV e UAV.
- IV. *Maritime Sustainability*. Sarà sviluppata un'applicazione per il monitoraggio dei fondali tramite l'uso congiunto di ASV e AUV.

Nei requisiti successivi vengono forniti esempi di realizzazione per ciascuna applicazione aggiuntiva.

Le applicazioni sono ordinate in base alla difficoltà di realizzazione. Da AA1 a AA4.

L'applicazione prescelta costituirà titolo addizionale di innovazione del progetto e sarà valutata in base al grado di difficoltà dell'applicazione prescelta.

L'implementazione di un numero superiore a uno di applicazioni costituisce titolo di preferenza aggiuntivo ulteriore per l'innovazione.

[RQ.41] AA1. SORVEGLIANZA MARITTIMA – Questa applicazione ha come oggetto un ASV che pattuglia una zona marittima ed è capace di identificare, localizzare e inseguire un obiettivo.

I due sistemi chiave per la sorveglianza marittima sono il sistema di percezione e quello di tracciamento dell'obiettivo.

Il sistema di percezione e pianificazione è in grado di rilevare e rintracciare le altre navi a media e lunga distanza mentre il sistema di guida e controllo esegue l'approccio con tracciamento del bersaglio, se ritenuto conflittuale.

Per quanto riguarda il sistema di tracciamento e detezione del cambio si prenda ispirazione dal sistema “Object-Level Tracking and Change Detection” (OTCD) in [Michael T. Wolf et al. ,2010]. Esso assimila tutti i contatti identificati dal sistema di acquisizione e localizzazione e genera lo stato della situazione globale richiesto dalla missione dell'ASV. Inoltre, tiene sotto controllo gli oggetti dinamici nella zona di interesse. Considerano che gli oggetti sono in movimento, OTCD deve essere in grado di riconoscere lo stesso oggetto che esce e rientra nella zona di interesse minimizzando i falsi positivi data una certa probabilità di detezione e di falso allarme. Si segue in questo caso un approccio probabilistico basato sul concetto di “probabilità di esistenza” in una certa posizione. Si assume, cioè, che una misura sia associata con l'obiettivo se è entro n deviazioni standard della misurazione prevista.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 125 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Per quanto riguarda la guida e controllo, il tracciamento e raggiungimento del bersaglio (o la sua prossimità) può essere fatto con precisione da sistemi con controllo dinamico a basse velocità ovvero con veicoli sotto-attuati ad alte velocità. Si consideri applicabile al progetto questo ultimo caso e si veda [Morten Breivik et al.,2008], laddove si passano in rassegna i vari sistemi di guida possibile, ovvero la guida a tre punti (LOS), inseguimento puro (Pure Pursuit (PP)) e la guida parallela (Costant Bearing (CB) o navigazione proporzionale (PN)) e si conclude che il sistema applicabile nel caso di veicolo sotto-attuato è quello di tipo CB nella variante con assegnamento diretto della velocità, allorchè tale tipo di veicoli non è in grado di cambiare la propria velocità più velocemente della propria rotazione al cambio della posizione del bersaglio e non può eseguire cambi di rotta istantanei a 180 gradi.

[RQ.42] AA2. CONTROLLO DEL TRAFFICO PORTUALE –Il traffico navale sta crescendo in tutto il mondo a causa dell’aumento della globalizzazione. Il risultato è un maggior volume di traffico nei porti e vie navigabili che richiedono n un maggiore sforzo di coordinamento.

Inoltre, il progresso tecnologico nella costruzione navale provoca l'aumento delle dimensioni delle navi e riduce i limiti operativi dei canali navigabili e dei passaggi marittimi. Le dimensioni delle navi portacontainer sono aumentate, infatti, di circa il 32% dal 2011, con un aumento anche delle dimensioni delle navi cisterna del 30%. Questa tendenza dovrebbe continuare, e si prevede che tra il 2010 e il 2030, le grandi navi portacontainer aumenteranno di dimensioni di 6,5 volte

La percentuale più alta di incidenti (75 96%) è dovuto all’errore umano o alla mancanza di sistemi di assistenza. Questo è uno dei motivi per cui grandi sforzi sono stati fatti per aumentare il livello di automazione in nave, soprattutto in situazioni di manovra in acque di manovra confinate.

Sarà, dunque, sviluppata un’applicazione per il controllo del traffico in acque confinate (come il porto) con navi autonome basata su metodi per la generazione centralizzata di traiettorie multi-veicolo considerando gli ostacoli statici e dinamici. La sfida di questo progetto è costituita dalla connessione dei sistemi GNC della nave locale con gli algoritmi sovraordinati.

Gli elementi fondamentali da progettare sono:

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 126 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- *Il modello del veicolo*, poiché le navi di solito differiscono notevolmente nelle loro caratteristiche e componenti, compresi i vari tipi e numero di sistemi di guida e di propulsione, deve essere favorito un approccio generico e “quattro quadranti”. Altri modelli dinamici possono essere comunque implementati dal contraente; si consulti [P. Oltmann and S. Sharma, 1984] e [M. Kurowski, R. Damerius, and T. Jeansch, 2018]. Vengono inoltre applicati i vincoli non-olonomici (ovvero, sway e surge sono pari a zero) [Martin Kurowski et al., 2019].
- *Il pianificatore centrale (funzione di Guida)*, che consente l’elaborazione, sincronizzazione e fusione dell’informazione locali nonché l’inoltro agli agenti decentrati. Il modulo di guida centrale è alimentato dai dati di navigazione forniti dalle navi autonome (AIS) fra loro sincronizzati e fornisce al modulo di controllo, quando necessario, una traiettoria per ogni veicolo del sistema. La traiettoria considera i veicoli AIS come ostacoli mobili da evitare e si compone una serie temporale di posizioni, orientamenti, velocità e comandi del veicolo accompagnati da un timestamp riferito all’istante iniziale della traiettoria. La generazione della singola traiettoria fra un punto iniziale e finale che eviti l’ostacolo può essere fatta con varie tecniche, si cita p.es. l’algoritmo A* e sarà cura del contraente proporre la soluzione migliore. L’ultimo passo da eseguire è quello di ottimizzare l’insieme delle traiettorie con riferimento alla prescelta funzione di costo (tempo, percorso e distanza rispetto al punto obiettivo finale). L’algoritmo di ottimizzazione sarà proposto dal contraente. Si cita p.es. WORHP [C. Buskens and D. Wassel, 2014].
- *L’attuatore (funzione di Navigazione e Controllo) locale*, laddove i valori di comando ottimizzati calcolati dal generatore centrale della traiettoria sono integrati nell’attuatore del veicolo che utilizza i dati fusi con un filtro multi-sensore. Il concetto chiave è costituito da una struttura di controllo a cascata utilizzando un anello interno unificato per il controllo della velocità (p.es. con controllore di tipo PI) e un anello esterno variabile per il controllo della direzione [Martin Kurowski et al., 2015] e [Martin Kurowski et al., 2019]. Nell’anello esterno vengono ricevuti i waypoint con relativi attributi dal processore centrale e si esegue un inseguimento della traiettoria con una tecnica p.es di tipo geometrico (LOS) che produce l’angolo di rotta da comandare al timone e la velocità da fornire al loop interno per il controllo dell’elica.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 127 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

[RQ.43] AA3.SEARCH AND RESCUE (SAR) – Sarà sviluppata un’applicazione SAR che utilizza un veicolo di superficie senza equipaggio (ASV) asservito a un veicolo aereo senza equipaggio (UAV) per automatizzare la ricerca e il salvataggio durante incidenti marittimi garantendo una rapida ed efficace risposta nella fase di emergenza.

Il sistema può avere anche un’applicazione nel rilevamento dei danni dovuti a disastri naturali (uragani, tempeste) o umani (inquinamento). Si veda p.es. [R.R. Murphy et al., 2008], dove tale sistema è stato usato per ispezionare le strutture costiere danneggiate dall’uragano Wilma nel 2005. L’ uso del sistema ha dimostrato tre vantaggi fondamentali:

- UAV può assistere ASV nel posizionamento relativo rispetto alla struttura parzialmente sommersa,
- UAV può migliorare la sicurezza delle operazioni di ASV,
- UAV e ASV consentono una visione completa delle strutture sommerse sia sopra il livello dell’acqua che sotto, che dall’alto. Questo è soprattutto importante in zone costiere di basso fondale.
- UAV può servire come un relais di comunicazione. UAV può fungere da ponte di comunicazione fra ASV e centro di controllo a terra perché meno affetto dai disturbi ambientali alle comunicazioni.

La presenza del drone aereo aumenta la visuale e riduce gli errori di prospettiva per bersagli a grandi distanze e allo stesso livello del mare, in assenza del segnale di localizzazione attivo (SAR beacon) che possa guidare il salvataggio.

Inoltre, la percezione di un ASV è di solito interferita dall'oscillazione dello scafo e dallo stato delle acque, rendendo difficile pianificare una traiettoria ottimale per ASV che tenga conto anche dei possibili ostacoli.

Questo è ancora più importante quando si svolgono azioni di ricerca o monitoraggio in zone disastrose per inondazioni o altre calamità naturali.

In questo caso, il veicolo aereo senza equipaggio (UAV) svolge il ruolo di un sensore in volo, fornendo in tempo reale la mappa globale e le informazioni sugli ostacoli con una segmentazione semantica (p.es. con Deep Learning) che estrae i pixel degli ostacoli



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 128 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

e una trasformazione di tali pixel in una proiezione a 3D da trasmettere a ASV.

Per i dettagli implementativi si veda per esempio il drone marittimo EMILY [Xuesu Xiao et al., 2017]. EMILY può fornire un mezzo di galleggiamento fino a quando non arriva un soccorritore, consegnare giubbotti di salvataggio, o lanciare una cima di salvataggio fino a 800 piedi anche in presenza di forti correnti e onde con tempi di risposta rapidi grazie ad una velocità di 35 Km/h. il sistema si compone di un drone aereo con pilota Pixhawk e funzionalità RTH (Return-To-Home) che comunica con la base sul canale di 915 Mhz e un drone marittimo.

Il sistema combinato esegue le seguenti funzioni:

- Tracking visuale. Viene stimata la posizione dell’obiettivo con una videocamera in HD montata su UAV che stima il centroide dell’oggetto tramite l’algoritmo CamShift. Viene stimato anche l’orientamento tramite lo storico del moto con compensazione degli errori di tracking dovuti a movimenti repentini tramite l’algoritmo di Douglas-Peucker. Viene inoltre applicata una trasformazione omogenea che stima l’angolo di inclinazione in caso di vista obliqua ed esegue “*inverse perspective warping*” per allargare la visuale. Altri sistemi di tracking dell’obiettivo sono comunque possibili anche con DL.
- Controllo di ASV. Viene impiegato un controllo semplificato di tipo linea di vista (LOS). L’attuazione è semplificata e si svolge in due modalità. Quando l'angolo di errore è maggiore di 30 gradi, il controllore è in modalità di rotazione e il timone è impostato al valore massimo verso il punto obiettivo e solo con il 30% della massima potenza erogabile. Quando l'angolo di errore si trova entro la soglia dei 30 gradi, si utilizza il controllo proporzionale-integrale-derivato (PID) per ottenere la posizione desiderata e la spinta è impostata al 60% del valore massimo.

Si consulti anche {Tao Huang et al., 2023}, laddove, una volta costruita la mappa degli ostacoli, si esegue un algoritmo di pianificazione quale Hybrid A* e si attua il movimento con un controllore di tipo Nonlinear model predictive control (NMPC).

A differenza dell'algoritmo A*, l'algoritmo Hybrid A* aggiunge la dimensione di orientamento al sistema di coordinate. Pertanto, i criteri per raggiungere lo stato di destinazione è che la distanza tra



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 129 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

le coordinate del nodo corrente e il punto di destinazione è inferiore alla soglia, allorché può essere generata la curva Reeds-Shepp senza collisione fra il punto di partenza e il punto di destinazione.

Si veda anche [Eduardo Pinto et al., 2013] per avere informazioni utili sull’architettura del sistema congiunto.

[RQ.44] AA4.MONITORAGGIO DEI FONDALI - Sarà sviluppata un’applicazione per il monitoraggio dei fondali (p.es. per la ricerca di cavi sottomarini, detriti e mine), ispezione di costruzioni portuali, piattaforme off-shore, tunnel sottomarini e degli scafi e monitoraggio delle acque profonde tramite l’uso congiunto di ASV e AUV.

La capacità del veicolo subacqueo di determinare la sua posizione precisa è vitale per il completamento della missione di ricognizione del fondale con successo. Non esistono metodi di dead-reckoning (DR) che da soli possono garantire il posizionamento accurato.

Per esempio, la misurazione del vettore di velocità del veicolo è di solito realizzato con una bussola (per ottenere la direzione) e un sensore di velocità rispetto all’acqua (DVL). Il problema principale è che la presenza di una corrente oceanica può aggiungere un componente di velocità al veicolo, che non viene rilevato dal solo sensore di velocità. I metodi di fusione multi-sensore per il posizionamento subacqueo dei veicoli sono quindi comunemente usati in questo caso e fondono un insieme di sensori.

L’insieme di sensori di DR, tipicamente, include un sistema di navigazione inerziale di tipo Strapdown (SDINS), un Doppler velocity log (DVL, che misura la velocità rispetto all’acqua sfruttando l’effetto doppler), un sensore di pressione per la misura della profondità e un magnetometro o girobussola.

Non è possibile avere il posizionamento assoluto direttamente a causa della mancanza di ricezione del segnale GNSS in acqua e quindi sistema di DR introduce una deriva della posizione che è stata stimata tipicamente in 8 metri ogni 4000 secondi [Yanrui Geng et al., 2020] ed è insensibile alla precisione della IMU a 9DOF.

Con riferimento a [Matthew Dunbabinn et al., 2004], si consideri come requisito della strumentazione di bordo la capacità di garantire una massima deviazione della posizione di 0,5 metri in un percorso lineare per un transetto di 50 metri.



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 130 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Nel caso di questo progetto si sopperisce a questa mancanza utilizzando un riferimento di posizione assoluta ottenuto con un ricevitore GNSS posto su un ASV e collegato a ASV tramite un collegamento acustico SBL (Short Baseline), evitando così di interrompere la missione nel caso si dovesse dotare ASV di un'antenna propria. La posizione dell'ASV può quindi essere calcolata nella nave di superficie conoscendo le posizioni relative dell'AUV e dei transponder di ASV.

Il posizionamento è normalmente ottenuto con i dati di distanza e di direzione interrogando il transponder del veicolo emerso e usando l'informazione di profondità per stimare la posizione rispetto al livello del mare. Questa procedura è chiamata “fish solution”, e consente all'operatore in superficie di controllare l'avanzamento del veicolo. Il sistema acustico a corta linea di base (SBL), per distanze fra 20 e 50 metri, può misurare con precisione il tempo di trasmissione delle onde del suono attraverso l'acqua, è ed utilizzato come soluzione di navigazione acustica in molte applicazioni AUV [D Loebis, R Sutton and J Chudley, 2015].

Si osserva che poiché le condizioni subacquee cambiano continuamente, una stima incorretta della covarianza di rumore influisce sull'accuratezza della stima della posizione e talvolta causa divergenza nella stima dello stato. Inoltre, l'effetto multi-path subacqueo e la non linearità delle misure causano outlier che hanno un impatto significativo sulla precisione posizionale.

Per mitigare questi effetti si richiede un filtro di fusione non lineare e adattivo delle misure [Nabil Shaukat et al., 2021].

Si veda, a questo proposito, la Nota Tecnica per una trattazione completa dell'argomento.

Al fine di monitorare il fondale si potranno usare telecamere subacquee e/o sonar ad immagine e si fonderanno opportunamente i dati estraendo le caratteristiche (feature) con tecniche convenzionali di riconoscimento delle immagini o con ML. Considerando il progetto Asimov [Antonio Pascoal et al., 2000], risultano fondamentali il progetto del sonar e del sistema di comunicazione.

Nel progetto Asimov è stato deciso di avere un unico SONAR che svolgesse tutte le funzioni, ovvero:

- Rilevamento degli ostacoli a mezz'acqua,
- Rilevamento degli ostacoli del terreno,
- Posizione degli ostacoli,



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 131 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- Tracciamento degli ostacoli,
- Identificazione delle caratteristiche dell’ostacolo,
- Point Echo Sounding,
- Swathe Echo Sounding,
- Indagine Sidescan,
- Indagine sub-suolo,
- Rilevamento di anomalie nella colonna d'acqua.

Inoltre, particolare cura è stata data al sistema di comunicazione acustico che consta di:

- Collegamento a bassa velocità bidirezionale (fino a 300 bps) che utilizza una robusta modulazione non coerente per trasmettere i dati critici tra i due veicoli
- Collegamento ad alta velocità (30000 bps) unidirezionale che utilizza una modulazione M-PSK per la trasmissione di immagini fisse compresse dall'AUV all'ASV.

Per quanto riguarda il sistema di comunicazione si faccia riferimento a [Petter Norgren et al., 2015], laddove si implementa un protocollo “Delay/Disruption Tolerant Networking (DTN)” compresso con linguaggio “Compact Control Language (CCL)”.

Si veda, inoltre, a questo proposito [R. Stokey, L. Freitag, and M. Grund, 2005], laddove si descrive il modo di tracciamento di AUV da parte di ASV. La velocità e la direzione dell'AUV sono considerati costanti negli istanti in cui non sono ricevuti i messaggi del modem e la profondità di AUV è ignorata. In caso di interruzione del collegamento si considera il piano di missione a-priori. Sulla base delle informazioni ricevute nel modem acustico USV si stima la posizione corrente del AUV e viene implementato un tracciamento di AUV di tipo “constant bearing” (CB).

Per missioni di lunga durata sono cruciali il progetto meccanico, l’alimentazione di energia e l’algoritmo di (ri)pianificazione del percorso [Zheng Zeng et al., 2015].

Questi algoritmi sono, comunque, in fase di consolidamento per l’ambiente subacqueo e si devono affrontare due problemi fondamentali:

- Effetti del complesso ambiente oceanico e marino. I mari e gli oceani sono composti da forti correnti, terreni di forma irregolare e ostacoli, la cui posizione può essere dinamica e incerta.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 132 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

- Ri-pianificazione. C'è ancora molto lavoro da fare nello sviluppo di metodi che consentono a un AUV di adattarsi e rigenerare la sua traiettoria durante il corso della missione utilizzando i profili delle correnti continuamente aggiornati dai sensori di bordo, come ad esempio un DVL orizzontale.

4.5 ALBERO DEL PRODOTTO

I Proponenti dovranno fornire l'albero del prodotto sviluppato in dettaglio – in accordo alle norme ECSS - scomponendo il Prodotto secondo un approccio top-down e fornirlo ad ASI in sede di Offerta.

4.6 FILOSOFIA DI SVILUPPO E DEI MODELLI

I Proponenti dovranno descrivere dettagliatamente la filosofia di sviluppo e dei modelli del prodotto e, coerentemente ad esso, un piano di validazione opportuno.

5.0 PIANIFICAZIONE DELLE ATTIVITA' FASI ED EVENTI CHIAVE

La durata di riferimento del progetto è, al massimo 24 (ventiquattro) mesi.

Le riunioni di inizio attività avranno luogo entro il termine stabilito nel contratto e in caso diverso, al minimo, entro 30 giorni calendariali dalla sottoscrizione del contratto.

La pianificazione è riferita rispetto alla riunione di Kick Off (KO), che stabilisce il riferimento “T0”; tutti gli eventi contrattuali sono definiti e si calcolano rispetto al “T0”.

I Proponenti dovranno definire le attività (durate e relazioni) in modo da stabilire una pianificazione solida e credibile per il raggiungimento degli obiettivi del contratto nei tempi richiesti; a tal fine, dovranno implementare opportune metodologie in accordo alle linee guida stabilite dalle norme ECSS (e.g.: SRR, PDR, CDR, FR, etc)

I Proponenti, per consentire ad ASI il controllo/monitoraggio dello stato del Programma, dovranno mantenere e fornire regolarmente ad ASI un “overall master schedule”, ad un livello di dettaglio almeno comparabile con la WBS e le Milestones contrattuali. La “overall master schedule” dovrà contenere tutte le attività, processi ed eventi essenziali ai fini del raggiungimento degli obiettivi del contratto.

I Proponenti dovranno effettuare, su tale pianificazione, un'analisi dei rischi ed una valutazione degli impatti associati e della probabilità di mantenere la pianificazione contrattuale (caso nominale e ottimistico).

5.1 MILESTONE CONTRATTUALI

Le “Milestones Contrattuali” o “Milestones” sono gli eventi ai quali sono associati i pagamenti e costituiscono gli unici riferimenti vincolanti, dove tipicamente intervengono verifiche di attività,

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 133 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

consegne di beni, autorizzazioni, collaudi di verifica, qualifiche e sono autorizzate le relative fatturazioni.

Le milestone del progetto sono esami dello stato tecnico di un progetto e delle eventuali criticità associate in un determinato momento.

Il loro scopo primario è quello di fornire una valutazione completa dello stato del progetto nei confronti degli obiettivi e dei requisiti. Le revisioni supportano e facilitano le comunicazioni di progetto interne ed esterne e forniscono informazioni sulle attività, sui risultati e sul progresso delle attività ingegneristiche del progetto, fornendo un importante supporto decisionale a chi sta gestendo il progetto.

Le Milestone Review (milestone contrattuali) sono organizzate dal contraente presso la propria sede seguendo le linee guida ECSS-M-ST-10C e discendenti.

Il Contraente dovrà proporre una pianificazione delle attività che preveda Milestone contrattuali (minimo 3 Milestone, oltre alla Riunione Iniziale), in occasione di eventi programmatici e tecnici significativi, con obiettivi chiari e misurabili.

L'ASI si riserva il diritto di modificare, in sede di stipula del contratto, la pianificazione proposta dal proponente per renderla maggiormente attinente all'andamento delle attività.

La documentazione relativa a ciascuna milestone deve essere inviata al Committente, tramite opportuni canali, almeno 2 (due) settimane prima della milestone.

6.0 FORNITURE DI RESPONSABILITÀ DELL'ASI

N/A

7.0 FORNITURA CONTRATTUALE

I Contraenti dovranno consegnare gli elementi di fornitura identificati di seguito secondo la pianificazione e le modalità ivi indicate.

7.1 HW/SW

Nella proposta dovranno essere dettagliate le forniture HW/SW previste, utilizzate per i test e le sperimentazioni previste dal programma, che potranno includere, a titolo esemplificativo:

- Prototipi, breadboard, modelli per lo sviluppo e la qualifica
- SW
- Modelli numerici, simulazioni e analisi

Per ogni elemento della fornitura il Contraente dovrà dettagliare la pianificazione delle consegne, che dovranno coincidere con gli eventi contrattuali. L'ASI si riserva il diritto di modificare, in sede di stipula del contratto, la pianificazione delle consegne per renderla maggiormente attinente all'andamento delle attività.

Il Contraente dovrà consegnare l'hardware ed il software riportati nel dettaglio nella lista di HW-SW da specificare al momento dell'offerta in risposta i requisiti di questo documento.

L'accettazione dell'HW e SW include le attività di verifica condotte dal Committente e dimostrazioni effettuate dal Contraente che la fornitura è conforme ai requisiti.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 134 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Il Contraente è responsabile della verifica dei requisiti che deve essere attuata mediante opportuni certificati di conformità.

Tutti gli elementi (ad es., H/W, S/W, modelli, tools, documenti/dati, COTS) prodotti, sviluppati o acquisiti, ed eventualmente modificati, nel corso del Progetto sono di proprietà del Committente e come tali anche da considerarsi elementi di fornitura in accordo alle condizioni generali dei Contratti ASI, pur se non soggetti a specifiche Delivery Review Boards (DRB).

Per quanto riguarda gli algoritmi ed il SW sviluppati nel corso del Progetto, il Contraente dovrà fornire al Committente sia i codici sorgente che quelli eseguibili e il relativo ambiente di sviluppo Tali algoritmi e SW dovranno riflettere lo stato aggiornato del progetto; ove questo subisse variazioni, essi dovranno essere aggiornati, configurati e riconsegnati al Committente.

L'accettazione dell'HW e SW include attività di verifica condotte dal Committente e dimostrazioni effettuate dal Contraente che la fornitura è conforme ai requisiti.

In fase d'offerta dovrà essere descritto il tipo di sviluppo HW (piattaforma, ricevitore, antenna, PC per MMI...) e SW (Mathlab, Simulink, Python...) necessario a soddisfare gli obiettivi di progetto, dettagliandone le finalità, l'incremento del livello di maturità tecnologica (TRL) atteso e la tempistica di sviluppo.

Dovrà essere inoltre evidenziato, in fase di proposta, l'eventuale utilizzo di HW/SW proprietario, se necessario per lo svolgimento delle attività di progetto e quantificare lo sviluppo richiesto in ambito di progetto. Ogni vincolo legato a IPR dovrà essere evidenziato e segnalato espressamente nella offerta.

7.2 MODELLI MATEMATICI E ALGORITMI

Nell'ambito della fornitura documentale, il Contraente dovrà fornire anche i Modelli Matematici e Algoritmi utilizzati e/o sviluppati nel corso del Progetto. Tali Modelli Matematici dovranno riflettere lo stato finale/congelato del progetto del Sistema; ove questo subisse variazioni, i budget ed i relativi modelli dovranno essere aggiornati, configurati e riconsegnati al Committente. I modelli dovranno essere corredati della documentazione descrittiva che ne consenta l'utilizzo; i modelli dovranno poter essere utilizzati usando SW commerciali.

Per quanto riguarda gli algoritmi ed il SW sviluppati nel corso dei singoli progetti, il Contraente dovrà fornire ad ASI sia i codici sorgente che quelli eseguibili. Tali algoritmi e SW dovranno riflettere lo stato aggiornato del progetto; ove questo subisse variazioni, essi dovranno essere aggiornati, configurati e riconsegnati al Committente.

Il SW di simulazione dovrà essere corredato di tutta la documentazione necessaria per l'installazione e l'utilizzo.

7.3 GESTIONE DELLA FORNITURA

Ciascun elemento di fornitura contrattuale dovrà essere documentato e configurato come da normativa applicabile (ECSS) per consentirne sia l'identificazione che la presa in carico da parte di ASI in accordo a quanto identificato nel presente documento ed ai comuni standard/pratiche di ingegneria e Qualità.

I trasporti degli elementi di fornitura dovranno essere effettuati a carico del Contraente fino alla consegna finale.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE



CAPITOLATO TECNICO

Documento: DC-UTN-2022-054

Revisione: A

Data: 09-10-2023

Pagina: 135 di 140

Raccolta: -

Bando: “Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”

Tutti gli elementi di fornitura trasmessi, immagazzinati e/o trasportati dovranno essere protetti secondo gli standard di sicurezza industriale per prevenire accessi non autorizzati. Per gli elementi classificati, valgono le leggi ed i regolamenti vigenti.

7.4 DOCUMENTAZIONE

Nella proposta dovrà essere dettagliata la fornitura documentale prevista per ogni milestone contrattuale prevista (vedi DDL: Document Delivery List). Essa dovrà includere al minimo quanto previsto in Allegato 1, secondo gli standard ECSS.

Per ogni documento il Contraente dovrà dettagliare la pianificazione delle consegne, che dovranno coincidere con gli eventi contrattuali. L'ASI si riserva il diritto di modificare, in sede di stipula del contratto, la pianificazione delle consegne per renderla maggiormente attinente all'andamento delle attività.

Il Contraente dovrà consegnare almeno la documentazione riportata nel dettaglio nella Lista in Allegato 1, che identifica la pianificazione delle consegne di tale documentazione e la documentazione che sarà sottoposta all'approvazione dell'ASI.

I documenti da consegnare comprendono in linea generale:

- Le specifiche e l'architettura di riferimento
- I metodi di valutazione delle prestazioni e analisi RAMS,
- La documentazione di sviluppo del progetto
- La documentazione specifica per le fasi successive certificazione del sistema ed espandibilità delle funzionalità
- Specifiche dei di verifica di sistema e dei test funzionali (per fase)
- Rapporto dei test o verifica (per fase)
- Pubblicazioni scientifiche

Per quanto riguarda la pubblicazione di articoli o pubblicazioni scientifiche, si riporta quanto indicato in CGA [DA 03], art. 32.2 e Appendice F: “Il rilascio di comunicati-stampa, la pubblicazione di articoli e di scritti, le inserzioni pubblicitarie riguardanti le attività oggetto del contratto, potranno essere effettuati sia dall'ASI che dal Contraente e dai suoi Subcontraenti. In questo secondo caso, ciò potrà avvenire solo previo consenso scritto dell'ASI e le pubblicazioni suddette dovranno sempre recare l'indicazione: "Lavoro effettuato con contratto dell'ASI".

I documenti devono essere forniti in formato nativo, MS word o MS Excel, MS Project e formato PDF.

I documenti devono essere redatti in **lingua italiana**, tranne le pubblicazioni scientifiche che saranno esclusivamente in **lingua inglese**.

8.0 PROPRIETA' INTELLETTUALE

La Proprietà Intellettuale, il know-how, i brevetti, i diritti, l'utilizzo futuro e le licenze dovranno essere regolati secondo quanto stabilito in [DA 01] all' art.33.

I risultati verranno resi disponibili dall'ASI alla comunità scientifica italiana e internazionale con modalità e tempistica da definire successivamente.

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE

	<p align="center">CAPITOLATO TECNICO</p>	<p>Documento: DC-UTN-2023-054 Revisione: A Data: 09-10-2023 Pagina: 136 di 140 Raccolta: -</p>
<p align="center">Bando <i>“Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”</i></p>		

	<p align="center">Bando <i>“Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico”</i> Allegato 1 DOCUMENTAZIONE MINIMA DA CONSEGNARE</p>
---	--

Rif.	Titolo del documento
	Proposta
DEL-PROP-01	Executive Summary dell'Offerta e Proposta Tecnico-Manageriale (che comprende almeno WBS, GANTT, descrizione WPD, pianificazione e struttura industriale, Product Tree e Matrice di compliance ai requisiti del Capitolato Tecnico [Si veda il Bando e suoi allegati per ulteriori dettagli].
DEL-PROP-02	Proposta Economico-finanziario (Inclusivo di PSS e file ECOS, ove applicabile) [Si veda il Bando e i suoi allegati per ulteriori dettagli]
	Gestione programmatica

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE

	CAPITOLATO TECNICO	Documento: DC-UTN-2023-054 Revisione: A Data: 09-10-2023 Pagina: 137 di 140 Raccolta: -
Bando <i>“Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico “</i>		

Rif.	Titolo del documento
DEL-PM-01	Piano di gestione del programma (include Project Management Plan- PMP, Configuration Management Plan – CMP, lista degli IPR)
DEL-PM -02	Product Assurance Plan (contiene il tailoring delle norme ECSS)
DEL-PM -03	Progress Report (emesso periodicamente ad ogni Milestone)
DEL-PM-04	Rapporto Finale del progetto (Final Report) (riassume i maggiori obiettivi raggiunti, criticità, lesson learnt e possibili evoluzioni. Include il manifesto finale del progetto da diffondere sui media)
DEL-PM-05	Pubblicazioni scientifiche
Gestione della configurazione	
DEL-CM-01	Lista dei documenti (DDL, Document Deliverable List), aggiornata ad ogni milestone
DEL-CM-02	CIDL (Configuration Item Data List)
DEL-CM-03	Report di stato della Configurazione e PA (include Document Status List, Action Item List, RID Lists, Change Status List, RFD/RFW List, NCR List, Audit report) [può essere incluso nel Progress Report]
RAMS	
DEL-PA-01	Studi RAMS (volti a stabilire la disponibilità del sistema e la sua affidabilità in caso di guasto, include FTA, FMECA come applicabile)
Gestione del rischio	

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE

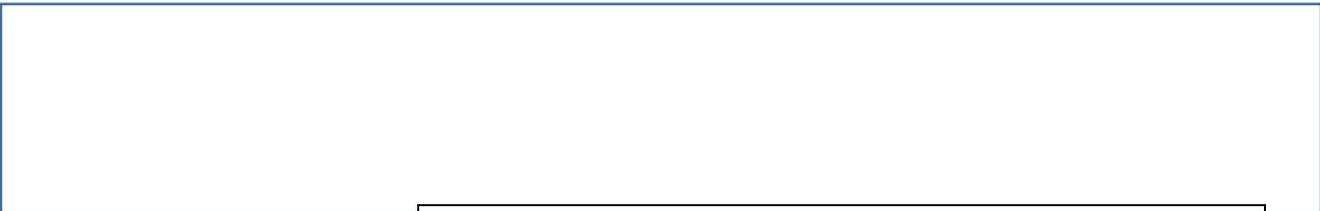
	CAPITOLATO TECNICO	Documento: DC-UTN-2023-054 Revisione: A Data: 09-10-2023 Pagina: 138 di 140 Raccolta: -
Bando <i>“Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico “</i>		

Rif.	Titolo del documento
DEL-RSK-01	Piano gestione dei rischi del progetto (Risk Management Plan) [può essere incluso in PMP]
DEL-RSK -02	Risk Register (aggiornato ad ogni milestone)
Specifica dei requisiti tecnici	
DEL-REQ-01	Technical Requirement Specifications
DEL-REQ-02	Requirements Traceability Matrix (RTM) delle specifiche tecniche ai requisiti utente
Specifica delle interfacce	
DEL-REQ-03	External Interface Requirements Specifications
DEL-REQ-04	Internal Interfaces Requirements Specifications
Progetto di dettaglio dell'architettura di sistema	
DEL-DES-01	Design Definition File (inclusivo dei Functional Tree e Product Tree)
DEL-DES-02	Design Justification File (inclusivo dei report di trade-off e algoritmi)
DEL-DES-03	Modelli degli algoritmi e dei prodotti (e.g.: CAD 3D, matematici, etc.)
Progetto delle Interfacce	
DEL-DES-03	Internal Interface Control Document
DEL-DES-04	External Interface Control Document
Piano di sviluppo e integrazione	

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE

	CAPITOLATO TECNICO	Documento: DC-UTN-2023-054 Revisione: A Data: 09-10-2023 Pagina: 139 di 140 Raccolta: -
Bando <i>“Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico “</i>		

Rif.	Titolo del documento
DEL-DEV-01	Piano di sviluppo e filosofia dei modelli per il raggiungimento del TRL obiettivo (include Design and Development Plan (DDP) e il piano di integrazione dei sottocomponenti)
DEL-DEV-02	Analisi dell'espandibilità del progetto (include possibilità di evoluzione e miglioramenti del prodotto non incluse in questo sviluppo)
Verifica, Validazione e dimostrazione delle performance	
DEL-TES-01	Piano di Verifica dei Requisiti (include VCRM rispetto ai requisiti utente) per il raggiungimento del TRL obiettivo
DEL-TES-02	Verification Control Document (include i Verification Reports e il riferimento ai Test reports)
DEL-TES-03	Qualification Test Reports (test di laboratorio, di simulazione e sul campo)
DEL-TES-04	Acceptance Test Reports (test di scenario operativo reale in laboratorio e sul campo)
DEL-TES-05	Test Specifications e Test Procedures (sia per Qualifica che Accettazione)
Prima Attivazione	
DEL-PRO-01	Certificato di conformità per ogni esemplare consegnato (include EIDP secondo ECSS-Q-ST-20C-Rev.2, DDL finale e il verbale del Delivery Review Board)
DEL-PRO-02	Manuale Utente
DEL-PRO-03	Manuale di installazione



INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE

	CAPITOLATO TECNICO	Documento: DC-UTN-2023-054 Revisione: A Data: 09-10-2023 Pagina: 140 di 140 Raccolta: -
<i>Bando</i> <i>“Sistemi di navigazione per il trasporto autonomo e automatico “</i>		

N.B. la periodicità di consegna della documentazione sarà definita dal contraente in fase di proposta

FINE DEL DOCUMENTO

INFORMAZIONI NON CLASSIFICATE