

A tool for research activity and technology transfer in corrosion and protection of materials: Genoa Experimental Marine Station (GEMS)

Uno strumento per l'attività di ricerca e il trasferimento tecnologico nell'ambito dello studio della corrosione e protezione dei materiali: la Genoa Experimental Marine Station (GEMS)

Roberto Stifanese, Paola Letardi, Pierluigi Traverso - CNR-ISMAR Genova



GENERAL CONTEXT

Corrosion monitoring is the qualitative/quantitative method by which the effectiveness of corrosion control and prevention techniques can be evaluated, thus providing the required feedback to enable corrosion control and optimize corrosion prevention methods. Corrosion tests are usually divided into two main categories: laboratory tests and infield tests, each of which has its pros and cons. In laboratory tests, it is possible to accelerate the corrosivity of the environment to obtain results more rapidly, but it is practically impossible to reproduce exactly the conditions in which a particular product will then have to be really used. The corrosion performances of materials in accelerated laboratory tests sometimes show a degradation that can be correlated with in field expositions whereas, in other cases, it is impossible to compare laboratory tests with outdoor experimentations^[1-4].

GENOA EXPERIMENTAL MARINE STATION (GEMS): AN INFIELD EXPERIMENTAL INFRASTRUCTURE

GEMS is located in the Genoa Harbour (Mediterranean – Ligurian Sea), a marine-industrial area (Fig. 1), and is equipped to monitor several relevant environmental parameters. The experimental station is used by CNR-ISMAR and Agencies or Companies which make request to carry out different kind



INTRODUZIONE

Il monitoraggio qualitativo/quantitativo del fenomeno corrosivo è un efficace metodo per il controllo del degrado di materiali e la valutazione del potere protettivo dei rivestimenti e può fornire una reale indicazione dell'affidabilità e/o delle criticità di un determinato prodotto. Le prove relative a questo contesto sono usualmente divise in due principali categorie: test di laboratorio e prove sul campo, ognuna delle quali ha i suoi vantaggi e svantaggi. Nei test di laboratorio, è possibile "accelerare" il fenomeno corrosivo e ottenere dati significativi in modo rapido, ma è praticamente impossibile riprodurre esattamente le condizioni in cui un determinato prodotto dovrà poi essere utilizzato realmente. Talvolta la resistenza ai fenomeni corrosivi condotta sui campioni nei test accelerati di laboratorio è stata correlata alle esposizioni effettuate in campo con buoni risultati, mentre in altri casi la comparazione è risultata invece impossibile^[1-4].

GENOA EXPERIMENTAL MARINE STATION (GEMS): UN'INFRASTRUTTURA PER PROVE SUL CAMPO

GEMS è situata nel Porto di Genova (Mar Mediterraneo – Mar Ligure), in un'area soggetta all'azione di un ambiente di tipo marino-industriale (Fig. 1) ed è attrezzata per il monitoraggio di diversi parametri ambientali. La stazione sperimentale è utilizzata dal CNR-ISMAR ed Enti pubblici o privati per



of in field tests to study material degradation behavior, new antifouling technologies using natural seawater (corrosion resistance measurement, paint antifouling performance, biocide efficacy, biofilm development, MIC-microbial influenced corrosion, biological bacterial film

Fig. 1 Genoa Experimental Marine Station (GEMS) localization. GEMS is inside the Genoa Harbour, a marine-industrial area. GPS coordinates: 44°23'44.6" N 8°55'53.2" E



Fig. 1 Localizzazione della Genoa Experimental Marine Station (GEMS). GEMS è situata nel Porto di Genova, in un'area di tipo marino-industriale. Le coordinate GPS sono: 44°23'44.6" N 8°55'53.2" E

growth, sensor performance, ballast water treatment, etc.), and to expose samples in standard conditions for ageing tests in marine atmosphere (coatings protective power evaluation, corrosion processes study, patinas monitoring, etc.) following ISO 8565^[5]. The station is working since April, 2005.

FACILITIES AVAILABLE AT GENOA EXPERIMENTAL MARINE STATION

The infrastructure has an indoor surface of 100 sqm, composed by a principal building and 2 modular laboratories (Fig. 2) available for pilot plants and services, powered and supported by a 30 KW electrical system, an internet connection, a potable water pipe and a natural seawater circuit powered by a pump which draws the water at a depth of 2,5 m, with a 12 l/min flow.

A floating wharf (8.30 m length by 2.40 m width) is anchored on the left side of GEMS and is used for the static immersion of samples. The station is also equipped with rotor system and a pneumatic boat, used for biocide-free paints dynamic tests (Fig. 2).

A weather station is installed on the building's roof (5 m elevation, see Fig. 2). Meteo data on air temperature,



condurre differenti prove in campo allo scopo di studiare il comportamento alla corrosione di materiali e valutare l'efficienza di nuove tecnologie antifouling utilizzando acqua di mare naturale (misure di resistenza al degrado, performance delle pitture antivegetative, sviluppo del biofilm, MIC-corrosione influenzata dalla componente batterica, sviluppo di sensori del film biologico, trattamento delle acque di zavorra, ecc.) e per esporre campioni in atmosfera secondo normativa internazionale ISO 8565^[5], così da valutare l'effetto del tempo trascorso in esposizione in atmosfera marina (caratterizzazione del potere protettivo di rivestimenti, studi dei processi di corrosione, monitoraggio delle patine in ambito Patrimonio Culturale, ecc.). La stazione sperimentale è in funzione dall'Aprile del 2005.

FACILITIES DISPONIBILI PRESSO LA GENOA EXPERIMENTAL MARINE STATION (GEMS)

L'infrastruttura dispone di una superficie coperta di 100 m², costituita da un edificio principale in muratura e da due laboratori modulari unitamente a locali di servizio (Fig. 2), disponibile per ospitare sia impianti pilota sia altre tipologie di sperimentazioni. L'impianto elettrico è stato recentemente rinnovato ed è ora in grado di fornire fino a 30 KW di potenza. La stazione sperimentale è inoltre dotata di connessione internet, di prese

Fig. 2 Genoa Experimental Marine Station (GEMS) and its facilities. The picture shows the 2 modular laboratories, the building, and 10 of the 18 racks available for atmospheric exposure. The floating raft and the pneumatic boat are moored on the left. The jib crane recently installed is visible on the right (in yellow). The weather station is installed on the building roof (inset)



Fig. 2 La Genoa Experimental Marine Station (GEMS) e i suoi stabilimenti. La foto mostra i due laboratori modulari, l'edificio in muratura e 10 dei 18 espositori disponibili per lo studio del degrado di materiali in atmosfera marina. La piattaforma galleggiante e il gommone sono collocati sul lato sinistro. La gru a bandiera, recentemente installata, è presente sulla destra (in giallo). L'insetto in alto a sinistra riporta la stazione metereologica che è installata sul tetto dell'edificio in muratura



atmospheric pressure, relative humidity, solar irradiance (total and UV), rain rate, wind speed and direction, dew point temperature and presence of wet film are recorded. A sensor for measuring sea water



di acqua potabile e di una linea di acqua di mare naturale gestita da una pompa che preleva il fluido ad una profondità di 2,5 m con un flusso di 12 l/min. Sul lato sinistro della stazione sperimentale è presente

Tab. 1 Genoa Experimental Marine Station (GEMS) in numbers

Coordinates: <i>Coordinate</i>	44°23'44.6" N 8°55'53.2" E
Corrosivity category: <i>Categoria corrosiva</i>	C2 for carbon steel; C3 for zinc; C4 for Copper; C3 for Aluminium <i>C2 per acciaio al carbonio; C3 per zinco; C4 per rame; C3 per alluminio</i>
Chlorides deposition category: <i>Classe deposizione dei cloruri</i>	S1
Start working: / <i>Inizio:</i>	April, 2005 / <i>Aprile 2005</i>
Availability: / <i>Disponibilità:</i>	24/7/365
Total area: / <i>Area totale:</i>	349.13 square meters / <i>349,13 m²</i>
Quay: / <i>Banchina:</i>	50 square meters / <i>50 m²</i>
Uncovered area: / <i>Area scoperta:</i>	223.13 square meters / <i>223,13 m²</i>
Covered area: / <i>Area coperta:</i>	74.5 + 25 square meters / <i>74,5 m² + 25 m²</i>
Water surface: / <i>Superficie dell'acqua:</i>	76 square meters / <i>76 m²</i>
Atmospheric exposure surface: <i>Superficie esposta all'atmosfera:</i>	40 square meters on 18 independent and modular racks <i>40 m² su 18 strutture indipendenti e modulari</i>
Floating wharf: <i>Piattaforma galleggiante:</i>	1.20 square meters (8.30 x 2.40 meters) <i>1,20 m² (8,30 x 2,40 m²)</i>
Sea depth: / <i>Profondità del mare:</i>	18-20 m
Jib Crane: / <i>Gru a bandiera:</i>	1, 500Kg max
Laboratories: <i>Laboratori</i>	3, composed by: / <i>3, composto da:</i> 2 modular units (25 square meters total) / <i>2 unità modulari (25 m² totali)</i> 1 building (75 square meters) / <i>1 edificio (75 m²)</i>
Electrical system: <i>Sistema elettrico</i>	30 KW
Wi-Fi internet connection: <i>Connessione internet WI-FI</i>	Yes, available and protected / <i>Sì, disponibile e protetto</i>
Drinkable water pipe: <i>Tubatura di acqua potabile:</i>	Yes, available / <i>Sì, disponibile</i>
Natural seawater circuit: <i>Circuito naturale di acqua salina:</i>	12 liters/minute flow drawing seawater at 2.5 meters depth <i>Prelievo del fluido ad una profondità di 2,5 metri con flusso di 12 lt/min</i>
Live cameras: / <i>Telecamere:</i>	2

Tab. 1 La Genoa Experimental Marine Station (GEMS) in numeri



temperature is also linked to the weather station. Values are sampled every 10 or 60s, elaborated and stored on a datalogger every 15 minutes; data are transmitted hourly by FTP protocol and stored on a web-

Fig. 3 Samples of unusual shape and size fixed on recently upgraded modular structures



Fig. 3 Campioni aventi forma e dimensioni non convenzionali, fissati sulle strutture espositive modulari di recente costruzione

based database. Hourly average data and graph are monthly elaborated and are usually available as soon as the user's experiment is completed. Chloride deposition is also collected and assessed by the "wet candle method" in accordance with ISO 9225^[6].

Two webcams are also present for the live control and visual evaluation of samples degradation and for the exposure area safety control. Sample images are saved daily via FTP protocol. The available data line provides also internet wireless access. More recently, a jib crane has been added to GEMS facilities (Fig. 2). The main features and "numbers" of GEMS are listed and summarized in Tab. 1.

Marine atmosphere aging tests are performed by fixing samples on properly designed, built, and positioned fully customizable racks which total surface is about 40 sqm. The last upgrade of exposure frames and racks has been performed on February, 2015. Since that date, frames and racks of GEMS become able to hold samples different from standard shape and size (Fig. 3 and 4).

The shore station is available 24/7/365 for both corrosion



una piattaforma galleggiante (lunga 8,30 m e larga 2,40 m) che è usata principalmente per l'immersione statica dei campioni in acqua di mare (Fig. 2). E' inoltre a disposizione un gommone, utilizzato principalmente per la conduzione di test dinamici volti a valutare l'efficacia del potere antivegetativo di rivestimenti per opera viva innovativi e privi di biocidi.

Sul tetto dell'edificio in muratura è installata una stazione meteorologica (a 5 metri di altezza, vedi inserto in Fig. 2). Tramite tale apparecchiatura vengono acquisiti dati relativi alla temperatura dell'aria, alla pressione atmosferica, all'umidità relativa, all'irraggiamento solare (totale e UV), all'intensità della pioggia, alla velocità e direzione del vento, alla temperatura del punto di rugiada e alla presenza di film umido superficiale. La stazione meteo è dotata anche di un sensore in grado di rilevare la temperatura dell'acqua di mare. Le misure vengono effettuate dal sistema ogni 10 o 60 secondi, elaborate e registrate in un datalogger ogni 15 minuti, per poi essere trasmesse ogni ora, tramite protocollo FTP alla sede CNR-ISMAR di Genova e salvate su un server dedicato. I dati orari medi e i grafici relativi sono elaborati su base mensile e sono messi a disposizione degli utilizzatori o ad essi inviati.

Viene misurata anche la velocità di deposizione dei cloruri utilizzando il "wet candle method", in accordo con la normativa ISO 9225^[6].

Due webcam sono presenti nell'area per un controllo in

Fig. 4 Samples of standard shape and size exposed in different inclination condition (5 degrees from the horizontal), fixed on recently upgraded modular structures



Fig. 4 Campioni aventi forma e dimensioni standard esposti in differente condizione di inclinazione rispetto alle normative (5 gradi rispetto all'orizzontale), fissati sulle strutture espositive modulari di recente costruzione



tests on bare materials and evaluation of the protective and/or antifouling performances of coatings. These activities are carried on using suitable devices for immersion tests or for marine atmospheric exposures. A CNR-ISMAR support team usually assists the user and partner groups, taking also care of logistic operations. The station is on-land, so the users have an easy direct access, even passable (Fig. 5). The access to the Harbour



tempo reale della stazione, sia per motivi di sicurezza sia per consentire una valutazione visiva del degrado dei campioni esposti. Le immagini di alcuni campioni sono registrate giornalmente via protocollo FTP. La linea dati disponibile prevede anche un accesso wireless a internet. Recentemente, per favorire lo spostamento di apparecchiature/natanti dalla parte in banchina di GEMS al mare e viceversa, è stata installata una gru a bandiera con portata utile di 500 Kg (Fig. 2).

Le principali caratteristiche e i "numeri" relativi alla GEMS sono visibili nella Tab. 1. Le prove di esposizione in atmosfera marina sono condotte fissando i campioni su strutture modulari appositamente progettate e costruite la cui superficie espositiva totale è di circa 40 m². L'ultimo aggiornamento di tali sistemi è avvenuto nel Febbraio del 2015. Da tale data, i telai e le strutture espositive installati presso la stazione sperimentale sono in grado di permettere il fissaggio di campioni di differenti forma e misura (Fig. 3 e 4).

La stazione sperimentale è disponibile 24 ore al giorno, 7 giorni su 7 e 365 giorni all'anno per la conduzione sia di test di corrosione (su materiali non protetti) sia di test rivolti alla valutazione del potere protettivo o antifouling dei rivestimenti.

La stazione sperimentale è disponibile 24 ore al giorno, 7 giorni su 7 e 365 giorni all'anno per la conduzione sia di test di corrosione (su materiali non protetti) sia di test rivolti alla valutazione del potere protettivo o antifouling dei rivestimenti.

La stazione sperimentale è disponibile 24 ore al giorno, 7 giorni su 7 e 365 giorni all'anno per la conduzione sia di test di corrosione (su materiali non protetti) sia di test rivolti alla valutazione del potere protettivo o antifouling dei rivestimenti.

Fig. 5 The easy direct access, even passable, to GEMS



Fig. 5 Accesso facile e diretto (passaggio pedonale e ampio cancello carrabile) alla GEMS

area is controlled by Genoa Harbour Authority, whereas the access to the Experimental Marine Station is regulated by the safety rules of CNR-ISMAR-Genoa.

CORROSIVITY CLASS OF GEMS

The corrosion rate of the site is continuously monitored by exposing standard metal panels to the action of the local atmosphere and by collecting and evaluating chloride deposition as described in ISO 9223 guideline^[7], two well known standardized parameters. As a consequence, the corrosivity classification

Fig. 6 Weight loss of the four standard metal evaluated after 1 year of atmospheric exposure in GEMS in the indicated period

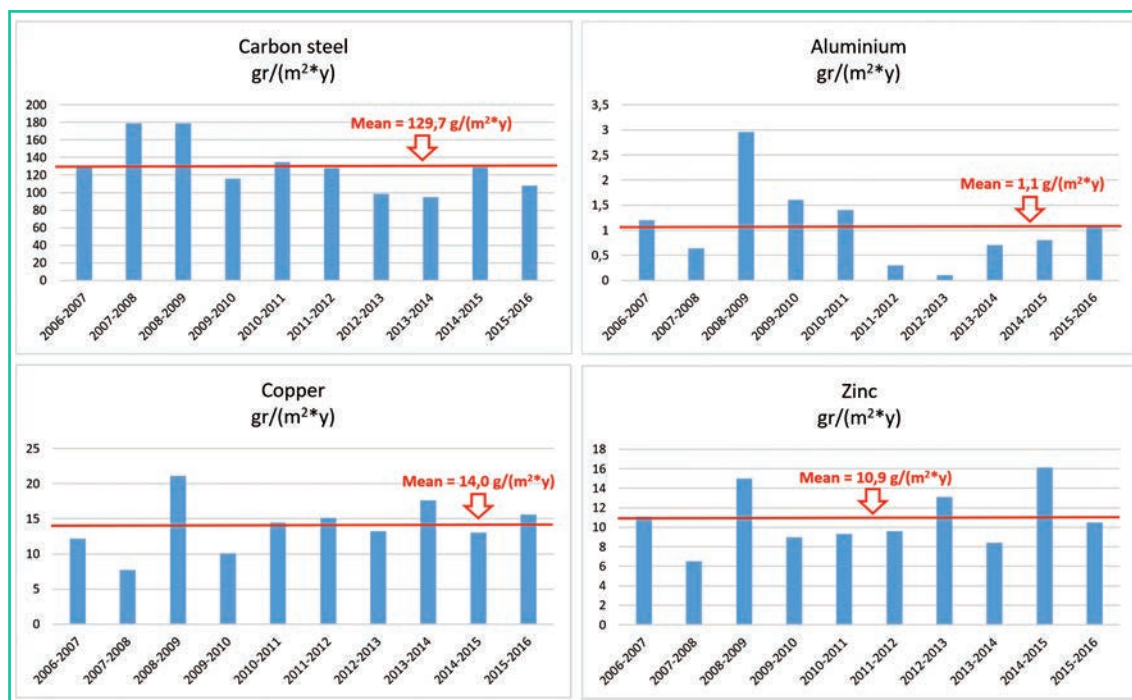


Fig. 6 Perdite di peso dei quattro metalli standard. Le perdite di peso sono state misurate dopo 1 anno di esposizione atmosferica dei pannelli standard presso la GEMS



of GEMS is continuously evaluated by measuring weight loss of four standard materials such as carbon steel, zinc, aluminium and copper following 1 year of exposition, whereas chloride deposition rate is evaluated by the “wet candle method”.

The characterization of corrosion rate of GEMS atmosphere conditions in accordance with the current International Standard Guidelines allows the comparison of GEMS with other exposition sites present worldwide. Data of weight loss and chloride deposition rate are shown in Fig. 6 and 7, respectively.

Fig. 7 Chloride deposition rate measured in GEMS by the “wet candle method” in the indicated period

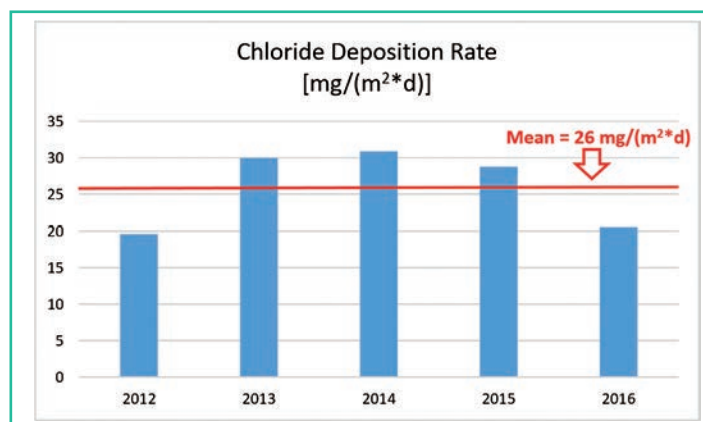


Fig. 7 Velocità di deposizione dei cloruri misurata presso la GEMS utilizzando il metodo della “wet candle”. I valori sono riportati come media giornaliera dei periodi indicati nel grafico

PROJECTS AND PARTNERS

GEMS is the only Italian facility of a kind currently present in the Mediterranean Sea, and is therefore widely used for EU Research Projects (Jerico FP7, CCNS – Corrosion Control for Navy Ships, a EDA - European Defence Agency - Project, etc.) and National Research Projects (MIUR - Technological Cluster for Navy Ship) as well as by Companies for material performance improvement and technology transfer.

Among Companies, Agusta Westland SpA, Arcelor Mittal Industeel, Centro Ricerche Fiat (CRF) – Fiat Chrysler Automobiles (FCA) Group N.V., Centro Sviluppo Materiali (CSM) SpA, Fincantieri SpA Fraunhofer Institute, Ingemar SRL, Qualital Servizi SRL, and Renner Italia SpA are those more linked to GEMS for their in field experimental testing. GEMS is also included in the MARS Network-The European Network of Marine Research Institutes and Stations (<http://www.marsnetwork.org>) and in Eurocean-Marine Research Infrastructures Database (<http://www.eurocean.org>).



Tutte queste attività sono condotte utilizzando dispositivi idonei a seconda del tipo di test, sia esso da condurre in immersione in acqua di mare oppure in atmosfera marina (esposizione atmosferica). I gruppi di tecnici o di ricercatori dei Partner sono sempre affiancati e assistiti dal personale del CNR-ISMAR, che si prende cura anche dell'organizzazione di tutta la parte logistica delle operazioni.

La stazione sperimentale è situata in radice di banchina (quindi sulla terra ferma) permettendo così agli utilizzatori di usufruire di un accesso facile e diretto, costituito sia da un passaggio pedonale sia da un ampio cancello carrabile (Fig. 5). L'accesso all'area del Porto di Genova è regolamentato e controllato dall'Autorità Portuale di Genova, mentre l'accesso alla stazione marina sperimentale di Genova (GEMS) è normato dalle regole di sicurezza del CNR-ISMAR di Genova.

CLASSE DI CORROSIVITÀ DI GEMS

La velocità di corrosione del sito sperimentale è tenuta sotto controllo continuamente tramite due metodi ben noti di misurazione della classe di corrosività di un sito, ovvero l'esposizione di provini metallici standard all'azione degli agenti atmosferici del luogo e la raccolta dei cloruri depositati – con successiva misurazione della loro velocità di deposizione – come indicato dalla Norma ISO 9223¹⁷.

La classificazione della corrosività di GEMS si basa quindi sulla misurazione della perdita di peso di quattro materiali standard (acciaio al carbonio, zinco, alluminio e rame) dopo un anno di esposizione, mentre la velocità di deposizione dei cloruri viene misurata mensilmente seguendo le indicazioni del “wet candle method”.

La definizione della velocità di corrosione e la caratterizzazione delle condizioni atmosferiche presenti nella GEMS, ottenute seguendo le linee guida fornite dalle Normative Standard Internazionali al momento in vigore, permettono la comparazione delle caratteristiche della stazione sperimentale con quelle di altri siti espositivi presenti in tutto il Mondo.

I dati relativi alle perdite di peso e dei provini standard e alla velocità di deposizione dei cloruri sono riportati, rispettivamente, nelle Fig. 6 e 7.

PARTNER E ATTIVITÀ

GEMS è l'unica infrastruttura italiana di questo tipo al momento presente nel bacino del Mar Mediterraneo. Per questo motivo viene ampiamente utilizzata per la conduzione di sperimentazioni in campo nell'ambito di Progetti di Ricerca finanziati sia da fondi Europei (quali “Jerico FP7”, il



REFERENCES

1. L. Petry and D.C Hansen, Corrosion, 72 (2016) 1385.
2. M. Liu, X. Cheng, X. Li, J. Hu, Y. Pan, Z. Jin, Case Studies in Construction Materials. 5 (2016) 87.
3. N. Le Bozec, N. Blandin N. and D. Thierry, Materials and Corrosion, 59 (2008) 889.
4. M. Morcillo, B. Chico, J. Alcántara, I. Díaz, J. Simancas, D. De la Fuente, Materials and Corrosion, 66 (2015) 882.
5. ISO 8565, "Metals and alloys – Atmospheric corrosion testing – General requirements for field tests", in: Corrosion-ISO Standard Handbook, International Organization for Standardization, Geneva CH, (2011).
6. ISO 9225, "Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmosphere – Measurement of pollution", in: Corrosion-ISO Standard Handbook, International Organization for Standardization, Geneva CH, (2004).
7. ISO 9223, "Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmosphere – Classification", in: Corrosion-ISO Standard Handbook, International Organization for Standardization, Geneva CH, (2004).



"CCNS – Corrosion Control for Navy Ships", un Progetto dell'EDA - European Defence Agency -, ecc.) sia da fondi Nazionali (quali ad esempio il Progetto "Cluster Tecnologico Nave Militare", finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca – MIUR) sia da Industrie/ Imprese interessate al trasferimento tecnologico tra Enti di Ricerca e Imprese e al miglioramento delle prestazioni dei materiali.

Tra le tante Aziende Partner, quelle più legate alla GEMS per la conduzione delle sperimentazioni in campo sono l'Agusta Westland SpA, l'Arcelor Mittal Industeel, il Centro Ricerche Fiat (CRF) – Fiat Chrysler Automobiles (FCA) Group N.V., il Centro Sviluppo Materiali (CSM) SpA, la Fincantieri SpA, il Fraunhofer Institute, la Ingemar SRL, la Qualital Servizi SRL e la Renner Italia SpA.

Questa stazione sperimentale è inserita nel MARS Network- The European Network of Marine Research Institutes and Stations (<http://www.marsnetwork.org>) e nel Eurocean-Marine Research Infrastructures Database (<http://www.eurocean.org>).