



Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS): la fibra ottica che ascolta le infrastrutture.

Tecnologie, applicazioni e casi d'uso per infrastrutture sicure e resilienti

Centro Studi COM.TEL INNOVATION S.R.L. – novembre 2025

Sommario

Executive Summary	3
1. Introduzione e contesto.....	5
2. Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS): un po' di teoria	6
3. Vantaggi tecnici dei sistemi DFOS	7
4. DFOS un mercato in espansione	9
4.1. Segmentazione del mercato e fattori di crescita	10
4.2. I settori applicativi.....	11
5. I principali fornitori nell'industria DFOS	12
6. Applicazioni e casi d'uso	14
6.1. Energia e Oil & Gas	14
6.2. Smart Grid e monitoraggio energetico.....	15
6.3. Trasporti e Infrastrutture	15
6.4. Sicurezza perimetrale e difesa	17
6.5. Smart City e Smart Traffic Control.....	18
6.6. Use case per il monitoraggio ambientale e sismico	19
7. Benefici economici e sociali	21
8. Focus su NEC Fiber Optic Smart Sensing: tecnologia e casi applicativi.....	22
8.1. La soluzione NEC Fiber Optic Smart Sensing (FOSS)	22
8.2. Le applicazioni per le infrastrutture di telecomunicazione.....	24
8.3. Le applicazioni per le "Smart Road"	26
8.4. Il Caso NEXCO Central in Giappone.....	29
8.5. Il Caso COM.TEL INNOVATION/NEC - Movyon (Autostrade per l'Italia).....	31
8.6. Il Caso Milano Serravalle – Milano Tangenziali S.p.A. e NEC Italia S.p.A:	32
8.7. Verso il Digital Twin delle reti autostradali	33
8.8. La guida autonoma: il sistema cooperativo infrastruttura-veicolo.....	36
8.9. Monitoraggio della qualità della pavimentazione stradale.....	39
9. Sicurezza perimetrale e integrazione con sistemi di sorveglianza	39
10. Il Quadro normativo	41
11. Trend tecnologici e modelli emergenti.....	41
12. Conclusioni	43
Bibliografia e Fonti	44
Glossario tecnico	46

Executive Summary

Le infrastrutture moderne richiedono protezione continua e capacità di risposta immediata a guasti, intrusioni e anomalie. I sistemi tradizionali basati su sensori puntuali offrono copertura limitata e costi elevati.

La tecnologia **Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS)** offre una soluzione rivoluzionaria: trasforma le reti in fibra ottica esistenti in sensori intelligenti distribuiti. Ogni metro di fibra diventa un punto di osservazione che rileva vibrazioni, deformazioni e variazioni termiche su distanze di decine o centinaia di chilometri e non richiede modifiche strutturali alle infrastrutture esistenti.

Con un singolo apparato “interrogatore” è possibile coprire lunghe distanze, avere elevata sensibilità per monitorare eventi in tempo reale, il tutto con immunità elettromagnetica per la natura non metallica della fibra. Può operare in condizioni estreme come tunnel, cavi sottomarini e ambienti ostili.

Il mercato globale DFOS vale **1,48 miliardi di USD (2024)** con crescita prevista a **2,81 miliardi di USD entro il 2030 (CAGR 11,4%)**, trainato dalla digitalizzazione e dalle esigenze di sicurezza delle infrastrutture critiche.

Le applicazioni DFOS spaziano in diversi settori:

- **Energia e Oil & Gas:** monitoraggio di pipeline (gasdotti, oleodotti, reti energetiche), pozzi petroliferi per il rilevamento delle perdite e guasti
- **Trasporti e Infrastrutture:** autostrade, strade, ponti, gallerie, ferrovie
- **Sicurezza e difesa:** protezione perimetrale, basi militari, confini nazionali
- **Smart City:** infrastrutture urbane, edifici, gestione del traffico, monitoraggio sismico
- **Grandi infrastrutture:** dighe, ponti, acquedotti

Esempi di utilizzo sono il gasdotto Keystone, di 4.300 km in Nord America, la protezione di grandi strutture come la diga Itaipu tra Brasile e Paraguay, il ponte *Øresund Bridge* tra Svezia e Danimarca, la gestione del traffico autostradale di NEXCO Central in Giappone.

I benefici includono prevenzione di incidenti, manutenzione predittiva, riduzione dei costi operativi fino al 60%, miglioramento della sicurezza pubblica e sostenibilità ambientale.

Progetti europei come FORESIGHT, ECSTATIC e iniziative nazionali (MEGLIO, FaaS, INRIM, INGV) dimostrano il crescente interesse per il monitoraggio sismico e infrastrutturale. In Italia, Movyon/Autostrade per l'Italia e COM.TEL INNOVATION S.r.l. stanno conducendo un proof of concept su 72 km di rete autostradale (giugno 2025) per gestione del traffico e manutenzione predittiva.

Sono numerosi i fornitori globali che operano nel settore, con prevalenza di Oil & Gas e infrastrutture. Nell'ambito delle Smart Road e Smart City, la soluzione NEC Fiber Optic Smart Sensing (FOSS) sviluppata da NEC Corporation e distribuita in Europa da COM.TEL INNOVATION S.r.l., rappresenta l'evoluzione industriale di DFOS. Integra sensori specializzati, motori di analisi AI avanzati e interfacce per applicazioni mission-critical. L'80% di riduzione negli errori di previsione del traffico, accuratezza del 95% nel rilevamento automatico degli eventi, riduzione fino al 60% dei costi operativi, sono ad esempio solo alcuni dei risultati ottenuti con tecnologie DFOS nelle autostrade in Giappone.

La progressiva maturazione della tecnologia ne determinerà la standardizzazione, con benefici attesi in termini di efficienza operativa e di contenimento di costi e investimenti.

Questo white paper illustra come la tecnologia DFOS stia trasformando le infrastrutture critiche in sistemi intelligenti, resilienti e sostenibili, fornendo una guida per comprenderne il potenziale applicativo e i benefici concreti.

1. Introduzione e contesto

Le infrastrutture critiche – reti di telecomunicazione, trasporto, energia, idriche – costituiscono l'ossatura della società moderna. La loro affidabilità e resilienza sono condizioni essenziali per la sicurezza nazionale, lo sviluppo economico e il benessere sociale. Un guasto può causare gravi impatti ambientali, economici e di sicurezza.

Negli ultimi anni, la complessità di queste reti è aumentata in modo esponenziale, trainata a fenomeni quali:

- la digitalizzazione accelerata: 5g/6G, IoT e Smart City richiedono sempre più sensori e visibilità
- l'aumento delle minacce cyber-fisiche e ambientali mettono sotto pressione i sistemi tradizionali
- la necessità di gestione predittiva per ridurre costi operativi, downtime e impatti ambientali
- le normative più stringenti sulla resilienza: NIS2, Resilience ACT, GDPR, AI Act impongono nuovi standard di sicurezza e monitoraggio

I sistemi di sorveglianza tradizionali – basati su sensori puntuali, telecamere o ispezioni periodiche, sistemi centralizzati da monitorare – mostrano evidenti limitazioni in termini di copertura, tempestività rilevazione eventi anomali e capacità di diagnosi anticipata (diagnosi predittiva), quali:

- Copertura parziale: sensori discreti ogni pochi metri creano punti ciechi critici
- Costi elevati: installare migliaia di sensori lungo gasdotti, ponti o ferrovie è invasivo e oneroso
- Manutenzione complessa: ogni sensore richiede ispezione periodica, con rischio di guasti
- Bassa sincronizzazione: difficile correlare eventi rilevati da diversi sensori
- Scarsa tempestività: rilevamento di anomalie con ritardi di minuti o ore

La sensoristica distribuita in fibra ottica DFOS risponde direttamente a queste esigenze. Trasformando la fibra ottica in sensore continuo e passivo, DFOS abilita:

- Monitoraggio real-time distanze di decine o centinaia di chilometri
- Risoluzione spaziale elevata: possibilità di localizzare eventi entro 10 metri
- Rilevamento di variazioni nanometriche di fase e millesimi di grado di temperatura
- Operatività in ambienti difficili: tunnel, cavi sottomarini, aree con condizioni climatiche avverse dove i sensori convenzionali falliscono

Questa capacità è cruciale per:

- Prevenzione di guasti critici: es perdite di oleodotti, reti idriche, cedimenti strutturali di strade, ponti, dighe, reti ferroviarie, reti di telecomunicazione fisiche¹
- Early warning per eventi ambientali: terremoti, frane, alluvioni
- Sicurezza operativa: rilevamento di intrusioni, monitoraggio del traffico

¹ [NEC Solution: NEC Fiber Optic Smart Sensing Solutions for Telecom Network Infrastructure](#)

- Ottimizzazione della manutenzione; evoluzione da ispezioni programmate ad interventi predittivi
- Operatività in ambienti difficili es tunnel, cavi sottomarini, aree con condizioni climatiche avverse ove sensori tradizionali falliscono

La tecnologia DFOS, scalabile e capace di integrare dati ambientali e operativi con l'Intelligenza Artificiale, consente di passare da una gestione reattiva a una governance proattiva delle infrastrutture, fondamento delle “Smart Infrastructure”.

2. Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS): un po' di teoria

La tecnologia Distributed Fiber Optic Sensing (DFOS) sfrutta fenomeni di “scattering ottico” che si verificano naturalmente quando impulsi laser viaggiano lungo una fibra ottica. Quando la luce interagisce con le micro-irregolarità del vetro o con perturbazioni esterne (vibrazioni, pressione, temperatura) parte dell'energia luminosa viene riflessa all'indietro (backscattering). Analizzando queste riflessioni è possibile ricostruire con precisione gli eventi fisici lungo tutta la lunghezza del cavo. Ciò consente di avere informazioni accurate e dettagliate sulle condizioni fisiche dell'ambiente che circonda la fibra.

I sistemi DFOS si basano su tre principali principi fisici:

Scattering di Rayleigh

- Causato da micro-disomogeneità nella struttura del vetro
- Sensibile a vibrazioni meccaniche e segnali acustici
- Utilizzato nei sistemi DAS (Distributed Acoustic Sensing)
- Applicazioni: rilevamento intrusioni, monitoraggio traffico, early warning sismico

Scattering di Raman

- Associato alle oscillazioni termiche delle molecole
- Sensibile alle variazioni di temperatura
- Utilizzato nei sistemi DTS (Distributed Temperature Sensing)
- Applicazioni: monitoraggio pipeline, cavi elettrici, data center

Scattering di Brillouin

- Legato a onde acustiche indotte da tensioni meccaniche
- Sensibile a deformazioni e strain
- Utilizzato nei sistemi DSS (Distributed Strain Sensing)
- Applicazioni: ponti, dighe, gallerie, monitoraggio strutturale

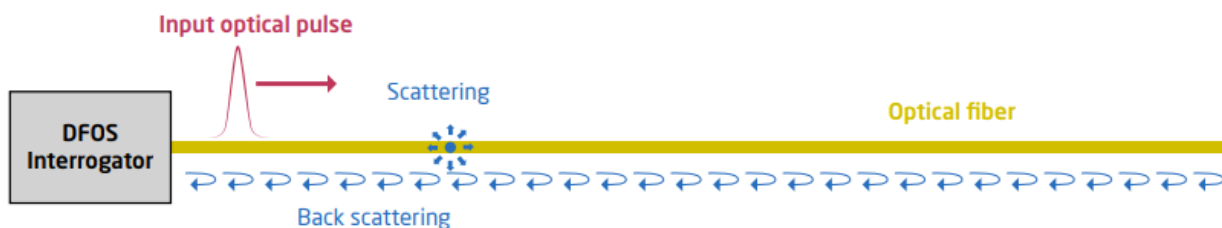


Figura 1: Funzionamento del Distributed Fiber Optic Sensing

Un sistema DFOS è composto da tre elementi principali:

- Interrogatore ottico: unità che emette impulsi laser e riceve i segnali riflessi
- Fibra ottica standard: funge da sensore passivo distribuito
- Unità di elaborazione AI: analizza i segnali e classifica gli eventi

L'interrogatore invia un impulso laser lungo la fibra, le riflessioni (backscattering) tornano all'interrogatore dove vengono digitalizzate. La misura del “time of flight” (tempo di volo) del segnale determina la posizione esatta dell'evento. Algoritmi di AI classificano il tipo di evento (es. vibrazione veicolare, intrusione, variazione termica) istantaneamente lungo tutta la fibra.

Tutti i componenti elettronici attivi rimangono nella centrale; il cavo funge passivamente da sensore. Ciò riduce drasticamente i costi di installazione e manutenzione, eliminando la necessità di alimentazione elettrica sul posto.

I sistemi DFOS moderni raggiungono:

- Risoluzione spaziale: da 1 a 10 metri a seconda della configurazione
- Distanza di copertura: fino a 100 km con interrogatore singolo, estendibile con ripetitori
- Sensibilità: rilevamento di deformazioni nanometriche e variazioni termiche di millesimi di grado
- Latenza: rilevamento in tempo reale (ordine dei millisecondi)

A differenza dei sensori puntuali (come i sensori FBG — Fiber Bragg Gratings), i sistemi DFOS offrono monitoraggio continuo, senza punti “ciechi”, utile per infrastrutture estese e scenari critici.

3. Vantaggi tecnici dei sistemi DFOS

I sistemi DFOS presentano numerosi benefici rispetto ai sistemi tradizionali (vedi tabella).

Tabella 1: Vantaggi DFOS vs sensori tradizionali

Caratteristica	Sensori tradizionali	DFOS
Copertura	Puntuale (ogni sensore copre pochi metri)	Continua (fino a 100 km con un solo interrogatore)
Punti di misura	Limitati al numero di sensori installati	Migliaia di punti virtuali lungo la fibra
Installazione	Invasiva, richiede alimentazione elettrica	Utilizza fibra esistente, nessuna alimentazione in campo
Manutenzione	Ogni sensore richiede ispezione periodica	Centralizzata, bassa manutenzione
Sincronizzazione	Richiede sistemi complessi	Intrinseca (tutti i segnali derivano dallo stesso impulso laser)
Immunità EMI	Sensibile a interferenze elettromagnetiche	Totalmente immune (fibra non metallica)
Robustezza	Soggetto a corrosione e usura	Resistente a condizioni ambientali estreme

Oltre ai benefici tecnici, i sistemi DFOS presentano numerosi vantaggi² operativi rispetto ai sensori tradizionali:

- **Ampio numero di punti di rilevamento:** l'intera lunghezza della fibra ottica funge da sensore, il che equivale a centinaia o migliaia di sensori integrati. Ciò riduce significativamente gli investimenti rispetto a installare lo stesso numero di sensori discreti.
- **Requisiti di campo “passivo”:** tutti gli elementi attivi che richiedono elettricità si trovano presso l'interrogatore, solitamente installato nella sede centrale. L'assenza di hardware e l'alimentazione sul campo riduce notevolmente i costi operativi e il consumo energetico.
- **Sincronizzazione intrinseca:** i segnali ricevuti da tutti punti di rilevamento sono generati da impulsi di ingresso comuni, quindi intrinsecamente sincronizzati. Ciò elimina i complessi schemi di sincronizzazione richiesti da altri sistemi integrati.
- **Capacità di localizzare l'evento:** eseguendo il calcolo del “time of flight” sui segnali di retrodiffusione, DFOS individua la posizione di ogni evento rilevato con precisione entro 10m su distanze di 100 km.
- **Capacità di rilevare più eventi (multi-evento):** poiché gli eventi vengono rilevati individualmente e indipendentemente, è possibile identificare e localizzare con precisione più eventi distinti (es. urti multipli) contemporaneamente lungo lo stesso cavo.
- **Utilizza fibra standard:** a differenza di alcuni sensori in fibra ottica che richiedono griglie o rivestimenti chimici speciali, DFOS funziona su fibra ottica standard senza particolari modifiche fisiche o chimiche.

² [NEC Solution: NEC Fiber Optic Smart Sensing Solutions for Telecom Network Infrastructure](#)

- **Lunga distanza di copertura** – un singolo sensore DFOS copre decine di chilometri (centinaia con ripetitori), molto più di qualsiasi sensore puntuale.
- **Alta sensibilità e risoluzione** – è possibile rilevare variazioni nanometriche di lunghezza d'onda e millesimi di grado di temperatura.
- **Bassa latenza** – il segnale viaggia alla velocità della luce nella fibra, abilitando monitoraggio *real-time*.
- **Sistema non-line-of-sight** – la fibra è flessibile ed il percorso non deve essere in linea retta o con sensori in line of sight come gran parte dei rilevatori ottici tradizionali.
- **Immunità elettromagnetica** – essendo la fibra priva di metalli, non subisce interferenze EMI ed è sicura in ambienti con forti campi elettromagnetici.
- **Robustezza ambientale** – la fibra è resistente alla corrosione, all'umidità e ai fattori climatici, rendendo possibile il monitoraggio in condizioni estreme.
- **Compattezza e leggerezza** – Le caratteristiche della fibra ottica con diametri molto piccoli e senza parti metalliche la rendono leggera e compatta.

4. DFOS un mercato in espansione

Il mercato globale dei sensori DFOS sta vivendo una crescita significativa, trainata dalla digitalizzazione delle infrastrutture e dalle esigenze di sicurezza e resilienza. Secondo Grand View Research, il mercato globale dei sensori in fibra ottica distribuita era di **1.482,5 milioni di USD nel 2024** e prevede di arrivare a circa **2.809,4 milioni nel 2030** con un **CAGR dell'11,4%**³.

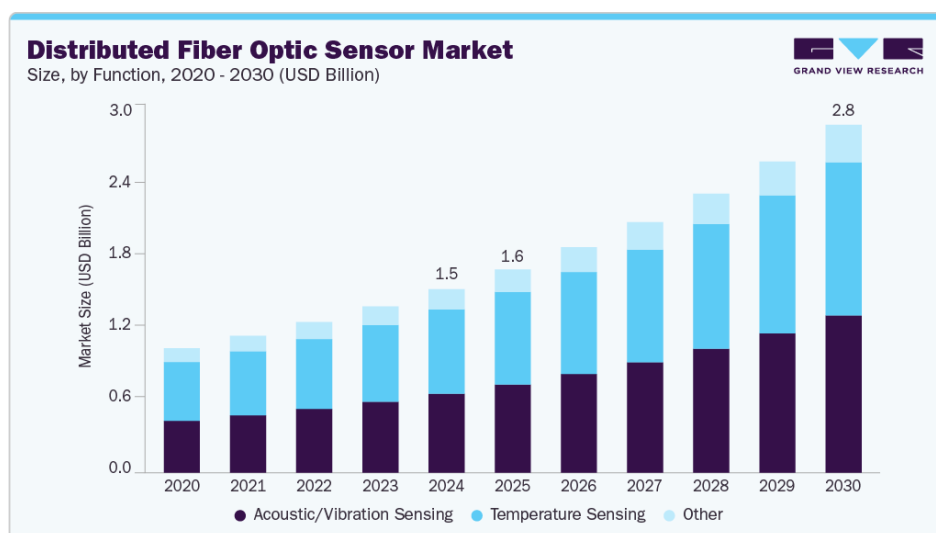


Figura 2: Dimensione del mercato globale DFOS (USD miliardi) dal 2020 al 2030.

³ [Distributed Fiber Optic Sensor Market \(2025 - 2030\)](#)

La convergenza tra le principali società di ricerca conferma una crescita robusta e sostenuta del settore.

Tabella 2: Il mercato globale DFOS

Fonte	Valore 2024 (Mld USD)	Valore 2030 (Mld USD)	CAGR (%)
Grand View Research ⁴	1,48	2,81	11,4
MarketsandMarkets ⁵	1,41	2,63	10,9
Precedence Research ⁶	3,03	7,70 (al 2034)	9,8

Nota: Le differenze tra le stime derivano da diverse metodologie di calcolo e perimetri di mercato considerati dalle società di ricerca

4.1. Segmentazione del mercato e fattori di crescita

La diffusione delle soluzioni DFOS secondo Grand View Research in base alla funzione, tecnologia, applicazione, verticale e area geografica⁷ è la seguente:

- **Funzione:** nel 2024, il segmento “Temperature Sensing” detiene la quota maggiore (45,8%) nel mercato DFOS, seguito da Acoustic Vibration Sensing (35%) e altri servizi specializzati.
- **Tecnologia:** il segmento basato su “effetto Raman” detiene la quota maggiore (35,1%), seguito da Rayleigh (40%) e Brillouin (15%). Il 9,9% altre tecnologie emergenti in crescita (Interferometrico, Bragg Grating).
- **Applicazione:** monitoraggio geofisico, disturbi di rete, infrastrutture ferroviarie, monitoraggio urbano, infrastrutture sottomarine rappresentano i segmenti principali.
- **Verticale:** Oil & Gas, Power Utility, Safety & Security, Industria e Ingegneria Civile costituiscono i driver principali di domanda.
- **Area Geografica:** Nord America: 30,7% del mercato nel 2024 (leader consolidato). Asia-Pacifico: segmento a più rapida espansione. Europa: crescita costante sostenuta da Horizon Europe e fondi PNRR.

La crescita è alimentata da diversi fattori:

- **Digitalizzazione delle reti infrastrutturali:** Telecom, energia e trasporti richiedono sempre più visibilità e controllo tempestivo dei loro asset critici.
- **Attenzione alla sicurezza e resilienza:** Le minacce cyber-fisiche e gli eventi ambientali estremi spingono alla ricerca di soluzioni di monitoraggio robusto.
- **Diffusione di AI, IoT e Smart City:** Le tecnologie emergenti creano domanda di sensori intelligenti capaci di fornire dati strutturati per l'analisi avanzata.

⁴ [Distributed Fiber Optic Sensor In Oil & Gas Market \(2025 - 2030\)](#)

⁵ [Distributed Fiber Optic Sensors Market](#)

⁶ [Fiber Optic Sensing System Market](#)

⁷ [Grand View Research](#)

- **Progressiva riduzione dei costi:** L'economia di scala e lo sviluppo tecnologico stanno abbassando i costi dei sistemi DFOS, ampliando il mercato addressable.
- **Normative sulla resilienza:** Direttive europee come NIS2, Resilience Act e Directive 2024/2557 obbligano gli operatori a investire in monitoraggio continuo.

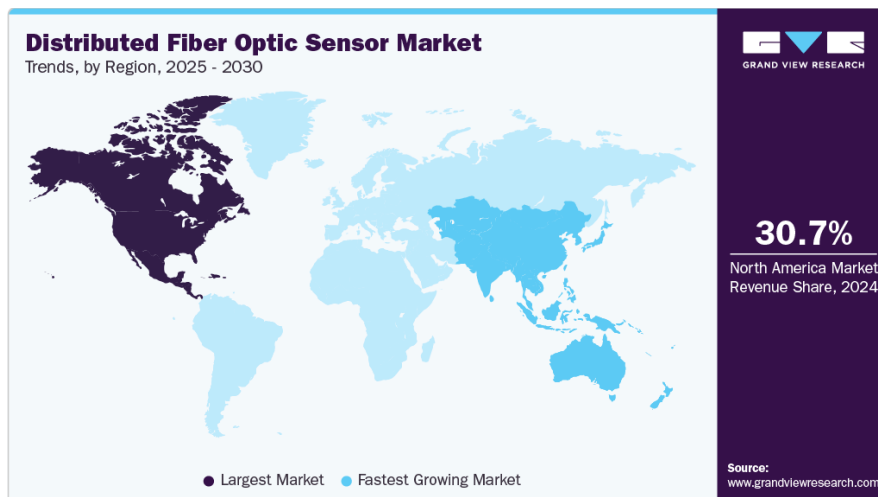


Figura 3: Il mercato DFOS nelle diverse aree geografiche

Il **Nord America** guida la domanda con 30,7% del mercato 2024⁸. Progetti nel settore **Oil & Gas** e nelle infrastrutture critiche generano significativi investimenti. Nel mercato USA, Grand View Research stima che il mercato DFOS sia pari a USD 307,23 milioni nel 2023 e prevede un CAGR del 3,7 % dal 2024 al 2030, con proiezione per 2030 di USD 395,77 milioni.

L'Asia-Pacifico è il segmento a più rapida espansione trainato da:

- Programmi governativi per Smart City (Cina, Giappone, Singapore)
- Espansione delle reti ferroviarie ad alta velocità
- Investimenti in sicurezza delle infrastrutture energetiche

L'Europa mostra crescita costante, sostenuta da:

- Fondi Horizon Europe per progetti di ricerca DFOS
- Direttive NIS2 e Resilience Act
- Investimenti PNRR in digitalizzazione infrastrutturale

4.2. I settori applicativi

In termini di applicazioni settoriale, il segmento **Oil & Gas** guida la domanda (più del 35% nel 2024) grazie alla necessità di monitoraggio di oleodotti e pozzi petroliferi. Seguono energia/power utility e infrastrutture civili (ponti, dighe, edifici).

⁸ [Distributed Fiber Optic Sensor Market \(2025 - 2030\)-grandviewresearch.com](https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/distributed-fiber-optic-sensor-market)

Tabella 3: Quota di mercato 2024 per settore applicativo

Settore	Quota di mercato	Applicazioni principali
Oil & Gas	35-40%	Pipeline, pozzi petroliferi, leak detection
Energia e Utility	20-25%	Smart grid, cavi elettrici, monitoraggio centrali
Trasporti	15-20%	Ponti, gallerie, ferrovie, autostrade
Sicurezza e Difesa	10-15%	Perimetri, confini, basi militari
Smart City	8-12%	Traffico urbano, monitoraggio ambientale

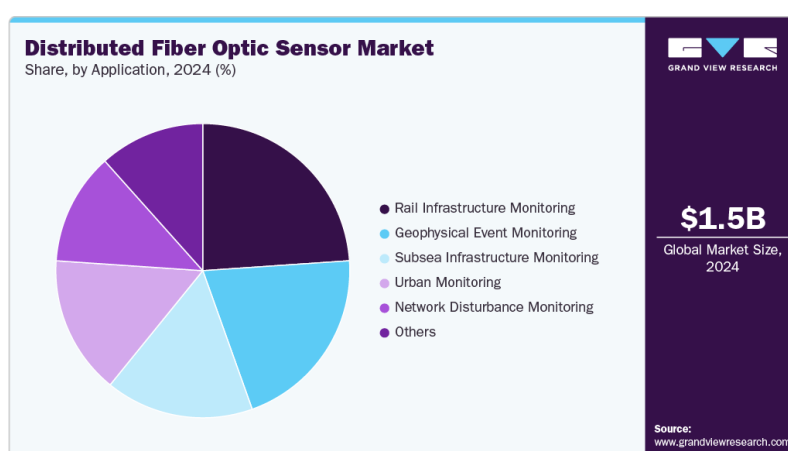


Figura 4: Applicazioni DFOS

Nel segmento **Oil & Gas**, Grand View Research⁹ stima che il segmento DFOS abbia generato **USD 596,1 milioni nel 2024**. Al 2030 la previsione è di **USD 781,2 milioni**, con CAGR del **4,4 %**.

Il report “A Review of Distributed Fiber-Optic Sensing in the Oil and Gas Industry” descrive l’uso di sistemi Rayleigh-based DAS, Raman-based DTS e Brillouin-based per misure distribuite di temperatura e deformazione¹⁰.

5. I principali fornitori nell’industria DFOS

Il settore dei fornitori di soluzioni DFOS è caratterizzato da una consolidazione attorno a specialisti di nicchia, con leader globali che provengono principalmente da Oil & Gas,

⁹ [Distributed Fiber Optic Sensor In Oil & Gas Market \(2025 - 2030\)](#)

¹⁰ [ResearchGate](#)

dove DFOS ha iniziato a maturare commercialmente. La mappa competitiva è suddivisa per:

- Tecnologie: alcuni fornitori si specializzano in DAS (Distributed Acoustic Sensing), altri in DTS (Distributed Temperature Sensing) o DSS (Distributed Strain Sensing)
- Applicazioni verticali: Oil & Gas, utility, Telecom, infrastrutture civili, difesa
- Modello di business: fornitori di hardware, system integrator, provider di servizi Fiber-as-a-Service

Nella tabella i principali fornitori DFOS globali, il loro posizionamento nel mercato e la loro rilevanza per i diversi settori applicativi.

Tabella 4: Fornitori DFOS

Azienda	Tecnologie Principali	Applicazioni Chiave	Posizionamento
Schlumberger (SLB) — USA	DAS, DTS, DSTS (Optiq suite)	Oil & gas downhole/subsea, CCS, geotermia, VSP	Leader globale in Oil & Gas e soluzioni integrate
Halliburton — USA	DAS, DTS (Odassea, FiberVSP)	Subsea wells, reservoir monitoring, well integrity	Major player — Offerte per subsea e field services
Baker Hughes — USA	DAS/DTS integrati con servizi	Oil & gas, monitoraggio pozzi	EPC/Service provider
Luna Innovations (OptaSense) — USA/UK	DAS (OptaSense), DTS	Pipeline monitoring, security/perimeter, Oil & Gas	Leader commerciale DAS — OptaSense acquisita da Luna
AP Sensing GmbH — Germania	DTS, DAS, DTSS + software	Pipeline, cavi sottomarini, infrastrutture	Specialista infrastrutture e utility
Silixa — Regno Unito/USA	DAS (iDAS), DTS (ULTIMA)	Oil & gas flow profiling, geofisica, sicurezza	Leader tecnologico DAS ad alta risoluzione
OFS (OFS Fitel / Furukawa) — USA	Fibre ottiche specializzate + soluzioni DFOS	Cablaggio, long-reach sensing	Fornitore fibra + competenze installative
Omnisens SA — Svizzera	DTS/DAS per lunghe distanze	Pipeline, cavi sottomarini, asset integrity	Leader progetti Oil & Gas di lunga distanza
Brugg Kabel / Brugg Group — Svizzera	Cavi con fibre per sensing, soluzioni integrate	Infrastrutture, cavi sottomarini	Fornitore cavi + soluzioni integrate
Yokogawa Electric — Giappone	DTS, sistemi di monitoraggio	Energy, processi industriali, utility	Fornitore strumentazione e controllo
NEC Corporation — Giappone	DAS/DTS + AI proprietaria (FOSS)	Telecom, traffico, utility, sicurezza	Leader in AI + DFOS integrato

Tabella elaborata sulla base di analisi settoriale da report di mercato (Grand View Research, MarketsandMarkets, Precedence Research) e da dati disponibili nei siti ufficiali dei fornitori.

Analisi per settore applicativo:

- **Oil & Gas** (35-40% mercato DFOS): I leader storici sono Schlumberger, Halliburton e Baker Hughes, fornitori integrati di servizi di drilling e completamento pozzi. Luna Innovations (OptaSense) si è posizionata nel monitoraggio di pipeline. Il segmento Oil & Gas rimane il driver principale di adozione DFOS grazie a ROI elevati e requisiti rigorosi di safety e compliance.
- **Energia e Utility** (20-25%): Fornitori come AP Sensing, Omnisens e Yokogawa offrono soluzioni per Smart Grid, monitoraggio linee elettriche e centrali. La digitalizzazione delle reti energetiche sta aprendo opportunità di Fiber-as-a-Service per operatori telecom.
- **Telecom e Infrastrutture Digitali** (10-15%): NEC FOSS è la soluzione più matura e integrata in questa vertical, con capacità di riutilizzare fibra ottica esistente per sensing, prevenzione di tagli ai cavi e monitoraggio ambientale. Altre soluzioni (AP Sensing, Silixa) operano in questo spazio come fornitori specializzati.
- **Trasporti e Smart Road** (10-15%): Attualmente il segmento con minore penetrazione DFOS, ma in crescita rapida. NEC è pioniere con NEXCO Central in Giappone; studi di fattibilità in Europa e Italia (Movyon - COM.TEL INNOVATION) suggeriscono potenziale significativo nei prossimi 2-3 anni.
- **Sicurezza e Difesa** (5-10%): Luna Innovations (OptaSense) e soluzioni custom da system integrator servono perimetri militari, basi e confini. Questo segmento ha requisiti di certification e confidentiality elevati.

Per approfondimenti sulle soluzioni NEC FOSS — piattaforma distribuita in esclusiva per l'Europa da COM.TEL INNOVATION S.r.l. — si rimanda alla successiva Sezione 8 del white paper.

6. Applicazioni e casi d'uso

6.1. Energia e Oil & Gas

Il settore energetico è al momento il maggior utilizzatore di soluzioni DFOS, con applicazioni critiche per sicurezza e continuità operativa. La rilevazione precoce di perdite o danneggiamenti (*leak detection* e *integrità strutturale*) in oleodotti e gasdotti è fondamentale per prevenire disastri ambientali ed economici. Monitorando costantemente temperatura e vibrazioni, si individuano subito fughe di fluido o cedimenti delle tubazioni¹¹.

Caso di studio è l'oleodotto **Keystone Pipeline** in Nord America:

- Lunghezza: oltre 4.300 km
- Sistema DFOS installato: monitoraggio continuo di temperatura e vibrazioni
- Risultati:
 - Rilevamento perdite in tempo reale con precisione di localizzazione <10 metri

¹¹ [Fiber Optic Sensors: A Game Changer In Infrastructure Monitoring](#) – Sensuron.com

- Riduzione del tempo di risposta agli incidenti da ore a minuti
- Prevenzione di danni ambientali e costi di remediation

DFOS rileva tempestivamente perdite minime, consentendo interventi rapidi e prevenendo danni ambientali. I vantaggi includono prevenzione di perdite disastrose, manutenzione predittiva (riduzione di fermi non programmati) e ottimizzazione del flusso operativo.



*Figura 5: L'oleodotto **Keystone Pipeline** in Nord America*

Benefici economici

- Un singolo evento di rottura intercettato può far risparmiare decine di milioni di dollari
- Riduzione costi assicurativi grazie al monitoraggio continuo
- Conformità normativa e miglioramento della reputazione aziendale

Well Monitoring

DFOS viene utilizzato per monitorare pozzi petroliferi durante estrazione e produzione:

- Profilazione termica per ottimizzare l'estrazione
- Rilevamento di anomalie di pressione
- Monitoraggio di pozzi sottomarini in ambienti ostili

6.2. Smart Grid e monitoraggio energetico

DFOS trova applicazione anche nelle Smart Grid e le reti per l'energia, consentendo controllo temperatura e tensioni sulle linee elettriche, integrazione con digital twin per rendere la rete più efficiente, sostenibile e resiliente.

6.3. Trasporti e Infrastrutture

DFOS trova applicazione nella sorveglianza dell'integrità strutturale di opere infrastrutturali: ponti, viadotti, gallerie, reti ferroviarie e stradali. E' possibile monitorare vibrazioni anomale (es. crolli di massi, rallentamenti dei veicoli, congestioni di traffico, intrusioni di persone/animali o veicoli in galleria) e deformazioni strutturali di ponti e

viadotti. Diverse sono le applicazioni in particolare per monitorare possibili danneggiamenti causati da eventi sismici.



Figura 6: Rilevazione di deterioramento di un ponte in base alle vibrazioni misurate

Due esempi sono le applicazioni DFOS¹² al ponte **Øresund Bridge** tra Danimarca e Svezia e alla **diga di Itaipu** al confine tra Brasile e Paraguay.

Øresund Bridge (Danimarca-Svezia)

- Fibra ottica integrata nella struttura del ponte
- Monitoraggio continuo di:
- Deformazioni causate da carico veicolare
- Vibrazioni indotte da vento e traffico
- Variazioni termiche e dilatazioni
- Sistema di allerta automatico per anomalie strutturali

Itaipu Dam (Brasile-Paraguay)

- Una delle più grandi dighe idroelettriche al mondo
- Sistema DFOS per monitoraggio sismico e deformazioni
- Rilevamento precoce di cedimenti e infiltrazioni



Figura 7: Il ponte Øresund Bridge che collega la Danimarca alla Svezia

¹² [Fiber Optic Sensors: A Game Changer In Infrastructure Monitoring – Sensuron.com](#)



Figura 8: La diga Itaipu Dam al confine tra Brasile e Paraguay

Altre applicazioni riguardano le **reti ferroviarie** dove il DFOS è utilizzato principalmente per la sicurezza:

- Rilevamento di oggetti sulle rotaie
- Monitoraggio dello stato delle traversine
- Localizzazione precisa dei treni
- Rilevamento di frane e cedimenti lungo le tratte

I benefici includono:

- Riduzione del rischio di deragliamenti
- Ottimizzazione della manutenzione predittiva
- Aumento della puntualità e affidabilità del servizio

6.4. Sicurezza perimetrale e difesa

DFOS offre capacità avanzate di protezione per siti sensibili e infrastrutture critiche quali: recinzioni, muri perimetrali, confini, impianti critici per rilevare intrusioni tramite vibrazioni o suoni, anche per lunghe distanze. Il vantaggio è una copertura estesa, difficile da manomettere, non richiede sensori sparsi né alimentazione.

Nel “Perimeter Security”, le applicazioni tipiche riguardano:

- Basi militari e aeroporti
- Data center e centrali nucleari
- Confini nazionali
- Impianti industriali ad alto rischio

IL DFOS consente:

- Rilevamento di intrusioni tramite analisi vibrazionale
- Distinzione automatica tramite AI tra:
 - Rumori ambientali (vento, animali)

- Attività sospette (scavi, tagli, scalate)
- Veicoli e persone non autorizzate
- Localizzazione precisa dell'evento lungo il perimetro
- Integrazione con sistemi di videosorveglianza per verifica visiva

I vantaggi rispetto ai sistemi tradizionali includono:

- Copertura continua (nessun punto cieco)
- Difficile da manomettere (cavo interrato o integrato in recinzioni)
- Basso tasso di falsi positivi grazie all'AI
- Nessuna alimentazione elettrica richiesta lungo il perimetro

Le applicazioni militari e di sicurezza usano DFOS per controllare aree sensibili (base militari, infrastrutture strategiche, confini). In Usa e Medio Oriente è ormai consolidato l'uso di DAS su recinzioni per allertare intrusioni di persone o veicoli non autorizzati. Un sistema DFOS può distinguere rumorosità ambientale da passi o scavi sospetti. La *situational awareness* così ottenuta aumenta significativamente la protezione fisica di asset critici.

6.5. Smart City e Smart Traffic Control

E' il settore in grande espansione. Le Smart City sperimentano DFOS per monitorare il traffico veicolare (onde di vibrazione su strade e ponti) e i transiti ferroviari urbani. Ad esempio, è possibile ottimizzare i semafori o segnalare incidenti in gallerie stradali. Sebbene meno documentati, alcuni progetti emergenti considerano DFOS per rilevare il rumore urbano (festival, ingorghi) o per la gestione delle reti metropolitane.

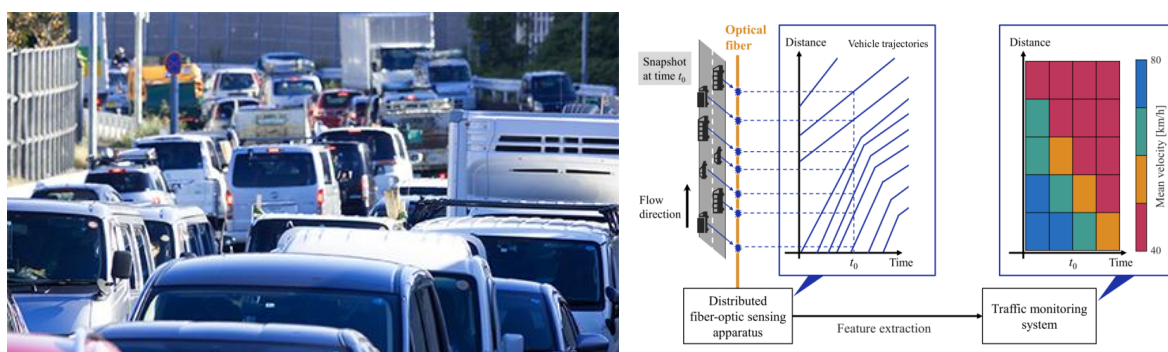


Figura 9: Schema per il monitoraggio del traffico con DFOS

Un caso di studio è rappresentato da **NEXCO CENTRAL (Central Nippon Expressway Company Limited)**, tra i maggiori gestori di tratte autostradali con oltre 600km nell'area di Tokyo, che ha implementato nel 2022 con **NEC Corporation** il primo sistema commerciale DFOS al mondo per il monitoraggio del traffico autostradale (NEC FOSS)¹³. Sensori in fibra ottica e Intelligenza Artificiale permettono

¹³ [NEC provides AI-based traffic monitoring system with fiber-optic sensing technology for NEXCO CENTRAL](#)

di visualizzare le condizioni del traffico in base alle vibrazioni prodotte dal movimento dei veicoli. Il sistema rileva inoltre in tempo reale deformazioni, cedimenti, vibrazioni anomale della rete autostradale.

6.6. Use case per il monitoraggio ambientale e sismico

L'interesse per DFOS in Europa e Italia è in aumento. Numerosi progetti di ricerca finanziati da Horizon Europe coinvolgono aziende e centri di ricerca europei per trasformare le reti esistenti in sensori ambientali ¹⁴, di particolare rilievo le iniziative nel campo della sismologia.



Figura 10: Monitoraggio di infrastrutture critiche per eventi sismici

Nel 2019 il progetto “**MEGLIO**” (Measuring Earthquakes signals Gathered with Laser Interferometry on Optic Fibers) con Open Fiber, l'Istituto Nazionale per la Ricerca Metrologica (INRIM) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e il successivo coinvolgimento delle società Bain & Company e Metallurgica Bresciana. La sperimentazione sulla tratta Ascoli Piceno-Teramo ha utilizzato fibre delle reti di telecomunicazioni esistenti per individuare in tempo reale epicentro e magnitudo delle scosse sismiche, complementare alla rete sismometrica tradizionale.

Il **Progetto FaaS (Fiber-as-a-Sensing)** finanziato e realizzato da Open Fiber con il Politecnico di Torino, l'INGV e SM Optics con l'obiettivo di potenziare la rilevazione con la fibra ottica dei terremoti sul territorio nazionale e il monitoraggio ambientale (frane, instabilità geologiche), con integrazione con il sistema nazionale di protezione civile. Sono in corso inoltre iniziative per testare l'uso delle fibre ottiche per rilevare cedimenti di binari ad alta velocità (Open Fiber, Polimi e Trenitalia).

Il **Progetto europeo Foresight** (Horizon UE) utilizza una tecnologia di nuova generazione sviluppata dal Politecnico di Milano in collaborazione con INRIM e INGV. Utilizza i **cavi ottici interni agli edifici** come sensori sismici per il monitoraggio infrastrutturale. I danni sono rilevati prima ancora che diventino “visibili” allertando le

¹⁴ [Fibra ottica per rilevare i terremoti, tutti i progetti italiani – Wired.it](https://www.wired.it/tecnologia/2019/09/11/fibra-ottica-terremoti-progetti-italiani/)

squadre di emergenza. Le informazioni sono disponibili **fino al 90% più velocemente** rispetto alle ispezioni “tradizionali” ed i **costi operativi sono ridotti fino al 50%**.

Soprattutto i **cavi sottomarini** stanno aprendo una nuova frontiera: il **Progetto europeo Ecstatic** con 14 partner, per l'Italia le Università de L'Aquila e di Padova e Sparkle. Finanziato per 4 milioni di euro nell'ambito del programma Horizon Europe, fa leva su avanzate tecniche di rilevamento nell'ambito delle infrastrutture di telecomunicazione in fibra, su Intelligenza Artificiale e machine learning per il **monitoraggio real time dei dati delle reti sottomarine**. Un test tra le isole greche di Cefalonia e Itaca (cavo di 15,6 km) ha rilevato oltre 110 micro-terremoti di magnitudo 1,5 e early warning tsunami in due mesi.

Sparkle ha siglato un protocollo con l'INGV per **sperimentare l'uso dei cavi sottomarini in fibra ottica per la rilevazione dei fenomeni sismici**, dopo aver condotto negli ultimi due anni diversi esperimenti sul sistema di cavi MedNautilus sempre in collaborazione con l'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia.

E' enorme quindi il potenziale delle fibre già installate (oltre 5 miliardi di km nel mondo) per l'ambiente globale.

Il **Progetto europeo SENSEI** (Smart European Networks for Sensing the Environment and Internet quality) vede coinvolti per la l'Italia il Politecnico di Torino, INRIM, INGV, la Fondazione Links, il Consorzio GARR, Open Fiber e SM Optics. In questo caso l'obiettivo è dare vita a reti di telecomunicazioni come sensori distribuiti per misurare la deformazione dei cavi attraverso l'integrazione di tecnologie.

Il **Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR)**, che destina rilevanti risorse all'*IoT* e alla sensoristica nelle infrastrutture, include investimenti significativi nel settore idrico e nell'efficientamento delle reti¹⁵. In particolare, il PNRR dedica **900 M€** al settore acquedotti 2021-2026 (di cui ~400 M€ per il monitoraggio digitale delle reti), riflettendo un focus sul monitoraggio smart (anche tramite fibre ottiche) per ridurre perdite e sprechi.

In generale, i case study confermano che le soluzioni DFOS aggiungono valore fornendo visibilità senza precedenti sulle infrastrutture: rilevano guasti prima che diventino critici, aumentano la sicurezza delle persone e riducono costi e impatti operativi. La tabella seguente schematizza alcune applicazioni tipiche e i parametri monitorati.

¹⁵ [Reti idriche smart e digitali grazie al PNRR: strumenti e tecnologie che servono](#)

Tabella 5: Casi d'uso DFOS

Settore	Applicazioni principali	Parametri DFOS	Benefici chiave
Energia / Oil & Gas	Pipeline (gas/olio), pozzi, oleodotti	Temperatura, vibrazioni, strain	Rilevazione perdite e cedimenti in real-time, manutenzione predittiva, sicurezza ambientale
Trasporti e infrastrutture (ferrovie/strade)	Monitoraggio binari, ponti, tunnel, strade, acquedotti	Vibrazioni, deformazioni	Prevenzione guasti strutturali, allerta incidenti, gestione traffico
Perimetro / Difesa	Confini, basi, aree riservate	Vibrazioni, acustica	Rilevazione intrusioni non autorizzate, protezione asset
Smart City / Ambiente	Traffico urbano, monitoraggio sismico	Vibrazioni, temperatura	Gestione dinamica del traffico, early warning sismico (es. progetto Foresight)

7. Benefici economici e sociali

L'adozione di DFOS genera ricadute positive significative:

- **Sicurezza aumentata:** il rilevamento precoce di guasti o intrusioni riduce drasticamente i rischi per la vita umana e l'ambiente. Ad esempio, un singolo evento di rottura pipeline evitato può far risparmiare decine di milioni di dollari in costi di remediation, sanzioni normative, perdita di prodotto e danni reputazionali. Danni reputazionali.
- **Efficienza operativa:** con sensori distribuiti si passa da ispezioni periodiche a una sorveglianza continua. Ciò permette interventi mirati (ad es. riparare subito la tubatura interessata) anziché estesi controlli manuali, abbattendo i costi di manutenzione.
- **Prevenzione del downtime:** la rilevazione automatica evita fermi imprevisti, con riduzione dei fermi non programmati fino al 22%.
- **Manutenzione predittiva:** analizzando pattern di vibrazioni e temperatura, l'AI può prevedere guasti imminenti (ad es. rilevando corrosione crescente) e programmare interventi prima che il guasto si manifesti. Ciò prolunga la vita degli asset e ottimizza l'uso delle risorse, con riduzione fino al 35% dei costi di manutenzione programmata.
- **Vantaggi normativi:** sistemi DFOS aiutano le aziende a rispettare requisiti di compliance e reporting (per es. standard di safety, ambientali o di sicurezza della rete), migliorando la governance complessiva.
- **Innovazione e nuove opportunità di business:** da un lato i gestori infrastrutturali possono offrire servizi di sicurezza/sensoristica come prodotto aggiuntivo; dall'altro i dati raccolti possono abilitare servizi smart (smart grid, smart metering, smart mobility).

- **Impatto sociale e sostenibilità:** infrastrutture più sicure e affidabili aumentano la resilienza di interi territori. Ridurre incidenti gravi comporta minori perdite economiche e ambientali, tutela occupazione e fiducia pubblica:
 - Riduzione incidenti stradali: >20% nelle aree monitorate con DFOS
 - Early warning sismico: minuti o secondi cruciali per evacuazioni
 - Protezione infrastrutture critiche: riduzione vulnerabilità a sabotaggi e attacchi terroristici
 - Riduzione emissioni CO₂: ottimizzazione del traffico riduce code e consumo carburante
 - Prevenzione disastri ambientali: rilevamento precoce perdite di idrocarburi
 - Efficienza idrica: monitoraggio acquedotti riduce sprechi (PNRR Italia: 900M€ dedicati)

L'uso di sensoristica distribuita potrebbe ridurre costi in modo significativo (es. fino al 50% nei controlli post-sismici secondo il progetto Foresight) e accelerare i tempi di risposta fino al 90% rispetto ai metodi tradizionali. In sintesi, gli investimenti in DFOS si ripagano velocemente attraverso risparmi operativi e prevenzione dei rischi.

8. Focus su NEC Fiber Optic Smart Sensing: tecnologia e casi applicativi

Tra i fornitori, **NEC Corporation** ha sviluppato una soluzione innovativa che integra sensing avanzato, Intelligenza Artificiale e facilità di implementazione: il sistema **NEC Fiber Optic Smart Sensing (FOSS)**.

Nei capitoli seguenti viene approfondita la soluzione FOSS, distribuita in Europa da COM.TEL INNOVATION S.r.l., analizzandone l'architettura tecnologica e i principali casi d'uso internazionali e italiani.

8.1. La soluzione NEC Fiber Optic Smart Sensing (FOSS)

NEC Fiber Optic Smart Sensing¹⁶ (FOSS) rappresenta l'evoluzione industriale della tecnologia DFOS, sviluppata da NEC Corporation sulla base di 20 anni di esperienza in trasmissioni ottiche transoceaniche e in Intelligenza Artificiale. **COM.TEL INNOVATION S.r.l.** è il polo tecnologico europeo di riferimento per la commercializzazione e implementazione di NEC FOSS, con focus su progetti pilota, ricerca applicativa, partnership con operatori infrastrutturali e supporto tecnico.

La piattaforma NEC FOSS usa “fiber sensing” avanzati (vibrazione e temperatura) applicati alla rete di telecomunicazioni esistente. FOSS offre un'interfaccia grafica utente intuitiva e un motore AI per classificare gli eventi (es. rumori, scosse, tagli di fibra, tentativi di intrusione). Gli analisti ricevono allarmi geolocalizzati e possono così intervenire prontamente. In sostanza, FOSS crea nuovi “servizi sensoriali” sovrapposti

¹⁶ NEC FIBER OPTIC SMART SENSING (FOSS)

alle reti in fibra: riconoscimento di scavi, perdita di cavi, anomalie operative, monitoraggio ambientale e sismico.

Il risultato realizza infrastrutture resilienti, protezione rafforzata, manutenzione predittiva e operazioni più efficienti, con un ritorno dell'investimento (ROI) migliorato e apertura a servizi evoluti.

AI-based analysis of vibrations, temperature, and sounds sensed by existing optical fiber networks



Measurement range of up to 100km (62mi)*1

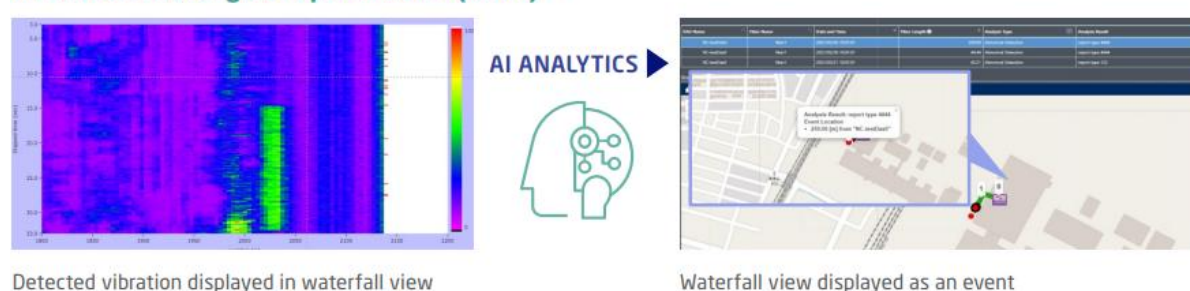


Figura 11: schema di funzionamento del NEC FOSS

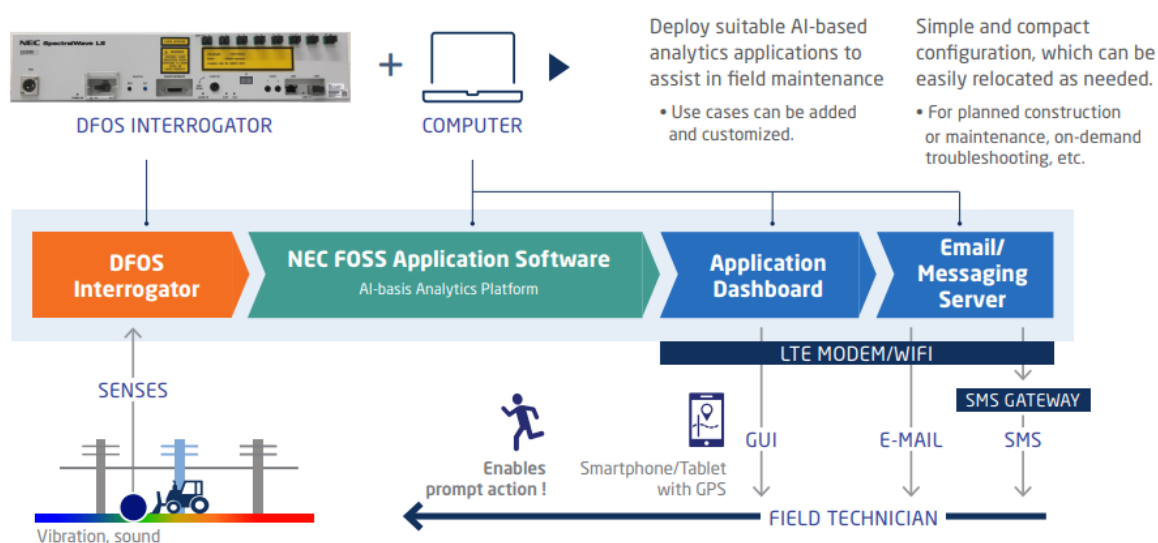


Figura 12: schema di funzionamento del modulo AI NEC FOSS

Architettura del sistema NEC FOSS

Laser Sensing Unit LS3300 (interrogatore ottico NEC)

- Emissione impulsi laser ad alta frequenza
- Ricezione e digitalizzazione backscattering
- Copertura: fino a 100 km per unità

Fibra ottica standard

- Nessuna modifica fisica richiesta
- Compatibile con infrastrutture esistenti
- Possibilità di utilizzo di "dark fiber" non utilizzata e anche fibra in uso

Unità di elaborazione edge

- Pre-processing locale dei segnali
- Riduzione latenza e banda verso centrale

Le informazioni sono processate dall'AI Engine proprietario NEC con il ruolo fondamentale di:

- Classificazione automatica eventi
- Filtraggio rumore ambientale
- Ricostruzione traiettorie (per applicazioni traffico)
- Machine Learning adattivo (migliora nel tempo)

Le evidenze vengono rappresentata su una interfaccia grafica multiplatforma

- Dashboard web responsive
- App mobile per tecnici sul campo
- Mappe interattive con geolocalizzazione eventi
- Sistema di allarmi configurabile

Integrazione API

- Connessione con sistemi SCADA
- Export dati verso digital twin
- Interfaccia con sistemi di ticketing e manutenzione

La soluzione NEC FOSS si inserisce nel contesto della trasformazione digitale globale, dove reti 5G/6G, IoT e infrastrutture smart richiedono sistemi di monitoraggio che siano al contempo precisi, agili e capaci di integrarsi in ecosistemi digitali complessi.

8.2. Le applicazioni per le infrastrutture di telecomunicazione

Le applicazioni abilitate da NEC FOSS trasformano le reti in fibra ottica — già esistenti o dedicate — in una rete di sensori distribuiti, capaci di rilevare vibrazioni, rumori, variazioni di temperatura e attività anomale lungo i cavi. Grazie all'Intelligenza Artificiale e al machine learning, la rete diventa un sistema di monitoraggio in tempo reale per sicurezza, manutenzione e gestione del territorio.

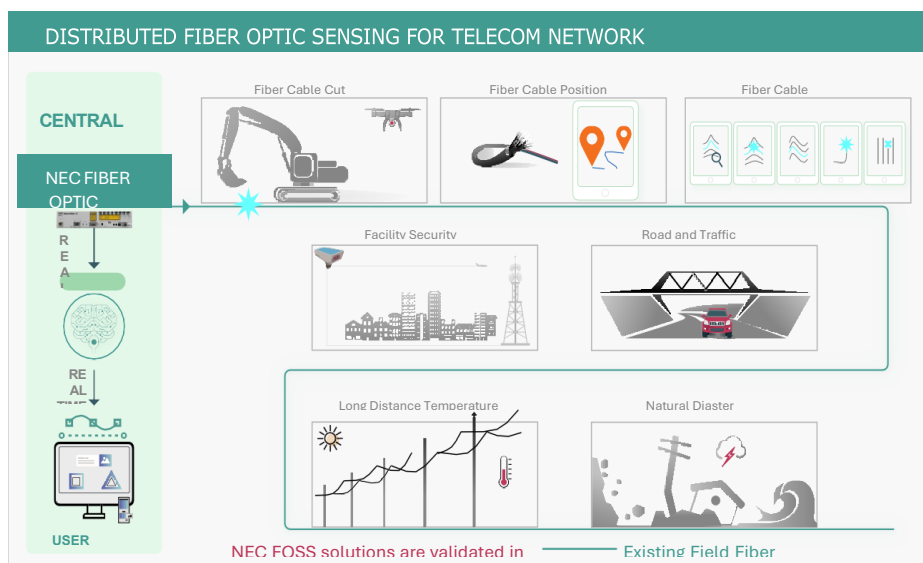


Figura 13: Esempi di applicazione di NEC FOSS nelle telecomunicazioni

Prevenzione dei tagli ai cavi

Uno dei problemi più costosi per gli operatori di rete è il taglio accidentale dei cavi durante lavori di cantiere e scavo delle diverse utility. Con NEC FOSS, la rete “sente” in anticipo le attività sospette — come l’avvio di macchine da cantiere — e avverte gli operatori prima che avvenga il danno, evitando interruzioni di servizio e riparazioni costose.

Localizzazione e identificazione dei cavi

Spesso i database delle reti non sono aggiornati e i tecnici non sanno con precisione dove passa un cavo o quale fibra stanno maneggiando. NEC FOSS, grazie a GPS e sensori integrati, permette di aggiornare automaticamente la mappa delle fibre e, tramite una app mobile, identificare immediatamente il cavo o la fibra corretta, riducendo tempi e rischi di errore.

Sicurezza perimetrale

Il sistema consente un monitoraggio continuo di siti sensibili — come data center, torri 5G, porti o confini — segnalando con precisione movimenti sospetti o intrusioni. L’Intelligenza Artificiale distingue i diversi tipi di evento e permette di personalizzare gli allarmi, riducendo i falsi positivi.

Monitoraggio stradale e del traffico

Le fibre ottiche posate lungo le strade possono fornire informazioni preziose sul traffico: conteggio e velocità dei veicoli, incidenti, guida pericolosa, buche o pioggia intensa. Le autorità possono così gestire meglio la viabilità, prevenire ingorghi e ridurre emissioni dovute ai veicoli fermi in coda.

Controllo della temperatura su lunga distanza

NEC FOSS consente il monitoraggio termico preciso e continuo su chilometri di rete: utile per data center, supermercati, cavi elettrici ad alta potenza o gallerie stradali. Il sistema può inviare allarmi preventivi di surriscaldamento o incendio prima che il problema diventi visibile.

Monitoraggio di disastri naturali

Le stesse fibre ottiche possono diventare sensori sismici sottomarini, capaci di rilevare terremoti e tsunami usando le reti già esistenti. NEC FOSS può anche controllare frane, alluvioni e instabilità di argini, offrendo una nuova frontiera per la protezione civile.

Tabella 6: Sistemi DFOS tradizionali e NEC FOSS

Aspetto	DFOS tradizionali	NEC FOSS
Utilizzo fibra esistente	Spesso richiede fibra dedicata	Funziona su reti telecom esistenti
Distanza	30-50 km tipici	Fino a 100 km per interrogatore
AI integrata	Limitata o assente	Engine proprietario con ML adattivo
Interfaccia utente	Complessa, solo tecnici specializzati	Intuitiva, multi-piattaforma
Classificazione eventi	Manuale o semi-automatica	Automatica con >95% accuratezza
Time-to-market	Lungo (sperimentazione)	Rapido (soluzioni preconfigurate)

8.3. Le applicazioni per le “Smart Road”

La crescita del traffico e la complessità delle reti autostradali pongono nuove sfide alla sicurezza e alla gestione delle infrastrutture. Congestioni improvvise, incidenti, caduta di oggetti o degrado delle superfici stradali rappresentano fattori critici sia per la sicurezza degli utenti, sia per la sostenibilità economica e ambientale del sistema dei trasporti.

Anche in questo settore NEC Fiber Optic Sensing (FOSS)¹⁷ attraverso le fibre ottiche già installate lungo le strade “ascolta” le vibrazioni e restituisce una visione in tempo reale dello stato del traffico. L’obiettivo è realizzare un **digital twin dinamico dell’infrastruttura stradale**, capace di monitorare, prevedere e ottimizzare il traffico con continuità e precisione.

¹⁷ [NEC provides AI-based traffic monitoring system with fiber-optic sensing technology for NEXCO CENTRAL](#)

Un AI Engine proprietario NEC elabora questi segnali, distinguendo il rumore ambientale dalle reali vibrazioni prodotte dai veicoli e ricostruisce le traiettorie di ogni singolo mezzo lungo l'intera tratta. Grazie alla combinazione di sensing continuo e Intelligenza Artificiale, si ottengono:

- Mappe dinamiche del traffico (velocità, densità, direzione);
- Rilevamento in tempo reale di anomalie (incidenti, rallentamenti, ostacoli);

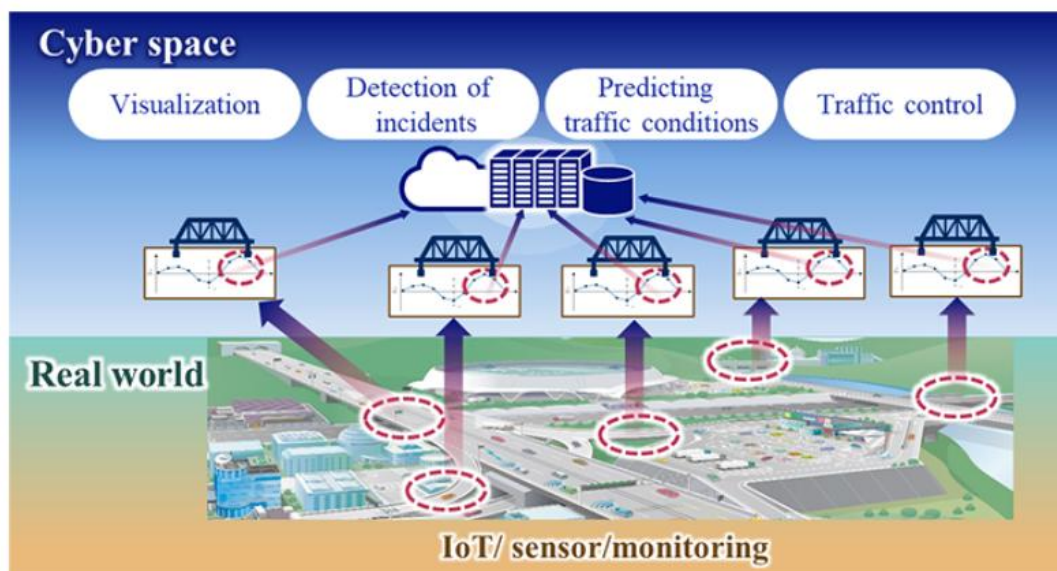


Figura 14: Schema funzionale dell'AI Engine NEC per l'estrazione delle traiettorie e la mappatura del flusso veicolare.

Il cavo in fibra ottica posato lungo la carreggiata rileva vibrazioni generate dai veicoli. Gli impulsi luminosi inviati da un interrogatore vengono riflessi in modo diverso a seconda dell'evento (es. passaggio, frenata, caduta oggetto). L'AI Engine analizza queste variazioni e le traduce in informazioni di traffico. Il flusso dati segue quattro fasi: (1) acquisizione dei segnali ottici, (2) rimozione del rumore con AI, (3) ricostruzione delle traiettorie veicolari, (4) generazione del digital twin del traffico in tempo reale. In questo modo è possibile ottenere:

- velocità media e flussi di traffico con granularità inferiore al chilometro;
- rilevamento di incidenti, congestioni e oggetti caduti;

L'uso delle fibre esistenti, originariamente installate per le telecomunicazioni, consente di evitare nuovi lavori stradali e di ridurre drasticamente i costi di implementazione rispetto ai sistemi tradizionali (sensori puntuali o telecamere).

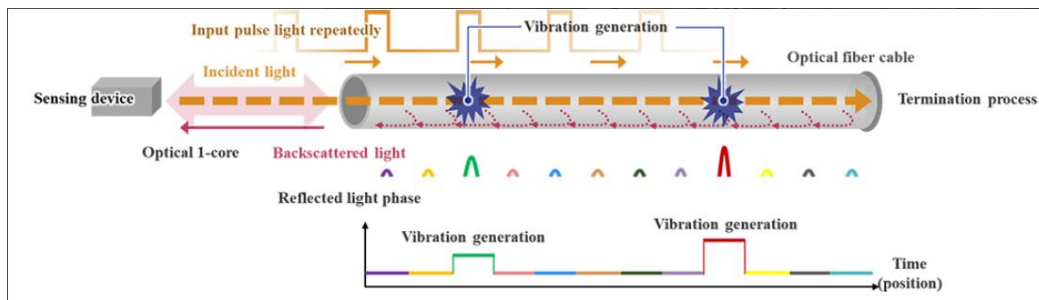


Figura 15: Schema del principio FOSS: un singolo cavo in fibra ottica funge da sensore continuo lungo l'intera tratta, rilevando vibrazioni e variazioni termiche indotte dal traffico.

Caratteristiche del sistema NEC FOSS

- Copertura continua: da un sistema “a punti” (telecamere, loop) a un sistema “a linea”, che monitora ogni metro della rete.
- Alta risoluzione: rilevamento con precisione fino a 10 metri, 100 volte superiore rispetto ai sensori tradizionali.
- Integrazione con AI: filtraggio del rumore ambientale, identificazione automatica dei veicoli, ricostruzione delle traiettorie.
- Scalabilità e aggiornabilità: nuove funzionalità possono essere introdotte tramite aggiornamenti software, senza modificare l'infrastruttura fisica.
- Sostenibilità economica: utilizzo della fibra ottica esistente, senza opere invasive o interruzioni del traffico.

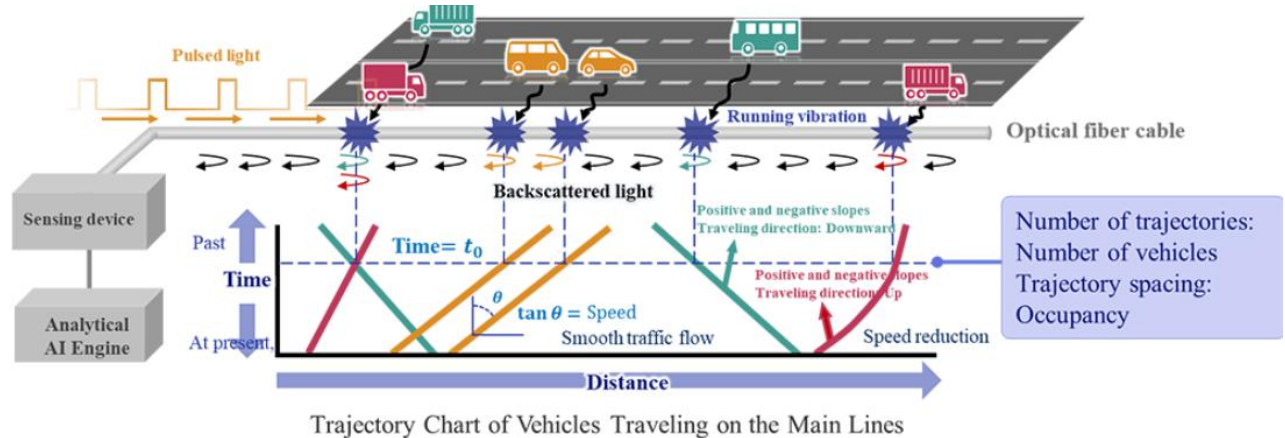


Figura 16: Schema del principio DFOS applicato al traffico autostradale

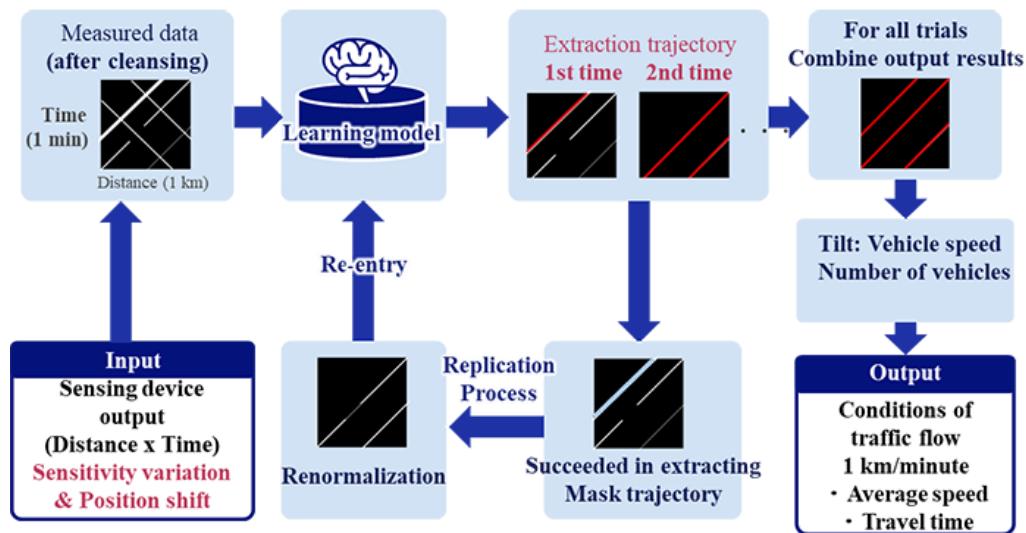


Figura 17: Il motore di Intelligenza Artificiale DFOS

8.4. Il Caso NEXCO Central in Giappone

Central Nippon Expressway Company (NEXCO Central) gestisce oltre 600 km di autostrade nella regione di Tokyo ed ha realizzato nel 2022 la prima implementazione commerciale globale di NEC FOSS per trasformare la propria rete in un'autostrada connessa e intelligente. Diverse erano le sfide da affrontare:

- Elevata densità di traffico
- Necessità di gestione proattiva delle congestioni
- Sicurezza in gallerie e viadotti complessi
- Preparazione per guida autonoma cooperativa



Figura 18: La sala di controllo di NEXCO Central

Precedentemente NEXCO utilizzava telecamere e sensori ogni 2 km con costi elevati e visione parziale. Il sistema FOSS di NEC è stato installato su diversi tratti della Shin-

Tomei Expressway, consentendo il monitoraggio continuo di centinaia di chilometri di corsie in entrambe le direzioni. Expressway Il sistema comprende sensori ottici (unità LS), nodi di raccolta dati negli shelter lungo la tratta e un centro di analisi NEC che elabora le informazioni di flusso, velocità e incidenti. Il sistema abilita:

- Rilevamento in tempo reale di anomalie (incidenti, rallentamenti, oggetti caduti, ingorghi stradali) con maggiore rapidità di intervento operativo
- Predizione della congestione con errore ridotto di 80 p.p. rispetto ai metodi basati su sensori tradizionali
- Risoluzione spaziale fino a 10 metri, 100 volte superiore rispetto ai sensori puntuali;
- Monitoraggio continuo e bidirezionale senza la necessità di nuove installazioni invasive;
- Risparmio sui costi di manutenzione e gestione grazie all'uso della fibra già installata per le comunicazioni
- predisposizione di percorsi alternativi, contribuendo al miglioramento della logistica e riduzione delle emissioni di CO₂

Lo sviluppo delle tecnologie prosegue, migliorandone le prestazioni ed i servizi a valore aggiunto¹⁸.

Il Caso NEXCO CENTRAL in sintesi

Implementazione

- Tratta: Shin-Tomei Expressway (autostrada più moderna del Giappone)
- Sistema: NEC FOSS con interrogatori LS3300
- Copertura: centinaia di km in entrambe le direzioni
- Investimento: utilizzo fibra ottica esistente lungo la tratta
- Funzionalità implementate

Real-time Traffic Monitoring

- Rilevamento traffico in real time
- Rilevazione di posizione, velocità e densità veicolare
- Risoluzione spaziale: 10 metri (100x superiore ai sensori tradizionali)
- Frequenza aggiornamento: < 1 secondo

Predictive Congestion Analysis

- Modelli AI proprietari NEC
- Previsione congestioni con 15-30 minuti di anticipo
- Riduzione 80% errore di previsione vs metodi tradizionali

Automatic Incident Detection

- Rilevamento incidenti in <10 secondi
- Classificazione automatica: incidente, veicolo fermo/in panne, oggetto caduto in carreggiata

¹⁸ [NEC technology predicts sudden traffic congestion in real time using optical fiber cables-](#)

- Allerta immediata a centri di controllo e servizi di emergenza
- Condizioni di ghiaccio o pioggia intensa

Dynamic Digital Twin della rete autostradale

- Rappresentazione digitale aggiornata in tempo reale
- Simulazioni what-if per ottimizzazione gestione
- Integrazione con sistemi di segnalazione dinamica
- Simulazioni predittive del traffico
- Gestione proattiva delle emergenze
- Pianificazione di percorsi alternativi

Tabella 7: NEXCO Central principali risultati

Indicatore	Prima di FOSS	Con FOSS	Miglioramento
Errore previsione congestione	Baseline 100%	20%	-80p.p.
Tempo rilevamento incidenti	3-5 minuti	<10 secondi	x18-30
Copertura sensori	Puntuale ogni 2 km	Continua	x200
Costo installazione sensori	Baseline 100%	40%	-60p.p.
Accuratezza velocità media	85% (sensori puntuali)	>95%	+10 punti p.p.

Impatto sulla mobilità

- Riduzione tempi di percorrenza grazie a gestione ottimizzata
- Miglioramento sicurezza e riduzione incidenti secondari
- Abilitazione verso guida autonoma cooperativa (Infrastructure-Cooperative Autonomous Driving)

8.5. Il Caso COM.TEL INNOVATION/NEC - Movyon (Autostrade per l'Italia)

Nel giugno 2025 COM.TEL INNOVATION/NEC e Movyon (Gruppo Autostrade per l'Italia sviluppa soluzioni tecnologiche per la “smart mobility”), in collaborazione con l’Università Sant’Anna di Pisa Istituto TeCIP (Tecnologie della Comunicazione, dell’Informazione e della Percezione), hanno avviato una Proof of Concept (PoC) per valutare la trasferibilità della tecnologia NEC FOSS al contesto autostradale italiano.

Parametri principali della sperimentazione

- Periodo di installazione: 10–13 giugno 2025
- Attivazione PoC: 25 giugno 2025
- Durata: tre mesi (fino a fine settembre 2025)
- Lunghezza totale: 72 km (tre loop in fibra da 24 km)

- Granularità della misura di velocità media: 0,5 km,
- Monitoraggio bidirezionale (entrambe le corsie)

Gli Obiettivi della sperimentazione sono:

- Validare la fattibilità tecnica del DFOS per la misura della velocità media su più corsie e direzioni
- Valutare la qualità del segnale lungo la fibra
- Verificare la coerenza dei dati confrontandoli con telecamere e sensori esistenti
- Valutazione delle potenzialità del sistema e sviluppo di servizi a valore aggiunto real time

I risultati preliminari confermano la stabilità e funzionalità del sistema, l'affidabilità dei dati per le corsie prossimali. E' in corso la validazione scientifica presso UniSantAnna.

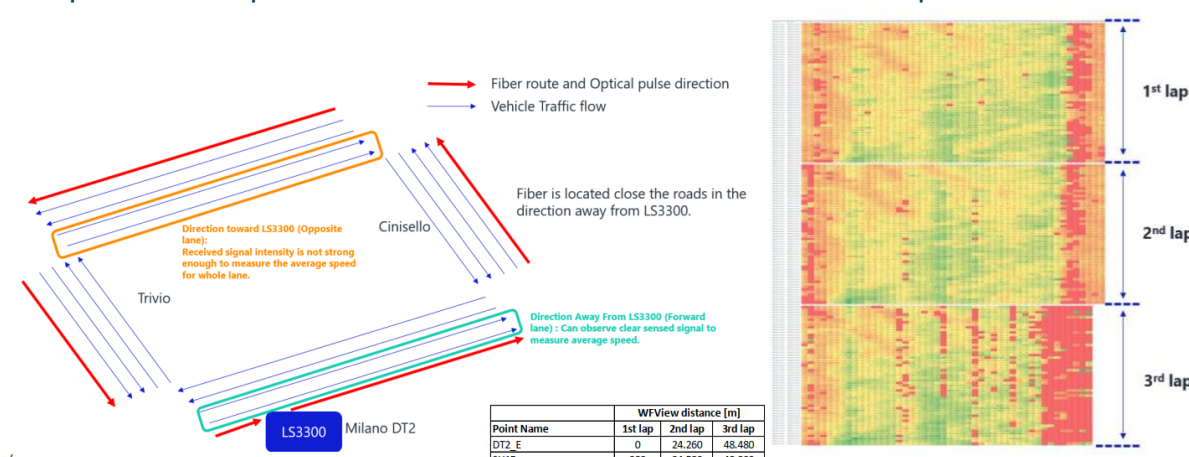


Figura 19: Schema della PoC Movyon Illustrazione del tracciato sperimentale con i tre loop in fibra ottica e i punti di rilevamento principali; Output preliminare della PoC Movyon Grafico della velocità media rilevata su un tratto di 24 km, con confronto tra misure DFOS e sensori di riferimento.

8.6. Il Caso Milano Serravalle – Milano Tangenziali S.p.A. e NEC Italia S.p.A:

Nell'ambito delle attività di innovazione per la gestione infrastrutturale, nel settembre 2024 Milano Serravalle – Milano Tangenziali S.p.A. e NEC Italia hanno avviato una sperimentazione sul campo lungo la rete di Milano Serravalle – Milano Tangenziali, concessionaria dell'Autostrada A7 (da Milano a Serravalle Scrivia) e delle tre tangenziali di Milano (A50, A51 e A52) per innovare il monitoraggio del traffico con la soluzione NEC FOSS. La sperimentazione ha sfruttato le fibre ottiche già presenti sulla tratta (rete concessionaria estesa per 187 km) per trasformarle in una rete di sensori distribuiti in grado di rilevare variazioni di pressione, vibrazione e deformazione indotte dal passaggio dei veicoli. I segnali acquisiti dall'interrogatore FOSS vengono pre-processati da un dispositivo IoT e inviati a moduli di analisi basati su algoritmi di AI sviluppati in R&D: il sistema ha fornito rilevazioni in tempo reale e report su parametri

quali conteggio veicoli, velocità stimata, accelerazioni/decelerazioni e localizzazione puntuale degli eventi lungo il tracciato — consentendo un monitoraggio “chilometro-per-chilometro” che integra e potenzia i dati dei sensori tradizionali (radar, telecamere).

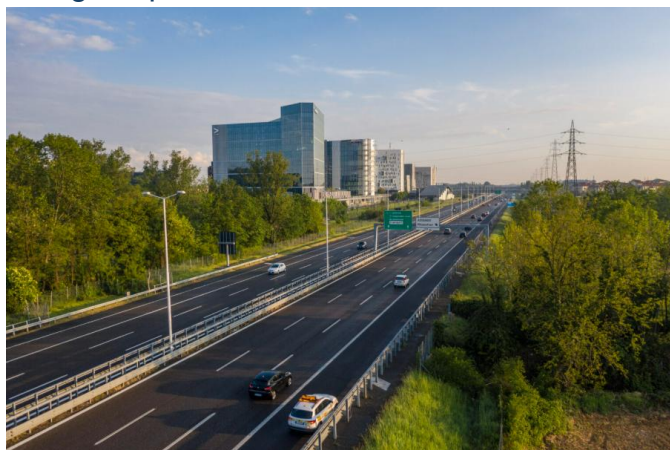


Figura 20: La Milano-Serravalle

Obiettivi misurabili della sperimentazione sono stati la verifica della copertura continua offerta dalla fibra (vs. punti fissi di sensori tradizionali), la valutazione della robustezza alle interferenze elettromagnetiche, e la qualità dei dati per l'analisi predittiva del traffico e la gestione proattiva degli eventi.

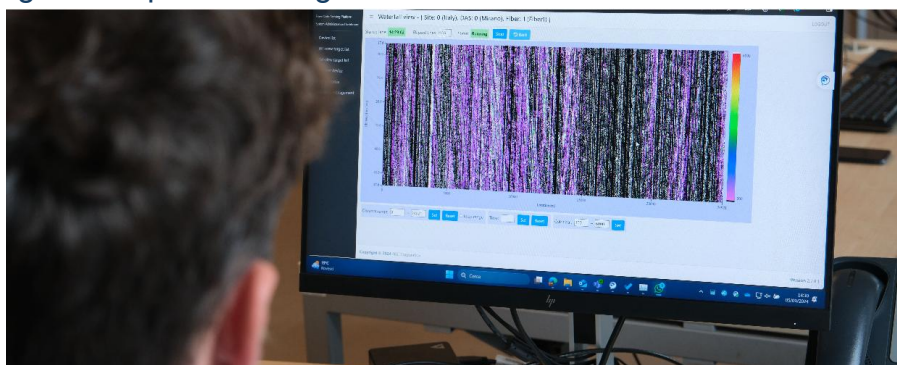


Figura 21: Le “tracce” dei veicoli rilevati dalla soluzione NECFOSS

La soluzione FOSS testata su una tratta della A7 e della Tangenziale Ovest A50 segue e capitalizza precedenti field-trial di NEC su reti in fibra, che hanno dimostrato la fattibilità del monitoraggio di flussi veicolari su route multiple e su infrastrutture esistenti. I risultati preliminari confermano che l'approccio basato su fibra fornisce dati ad alta densità spaziale utili sia per l'operatività quotidiana sia per applicazioni di manutenzione predittiva e analisi di capacità stradale.

8.7. Verso il Digital Twin delle reti autostradali

NEC Corporation¹⁹ sta portando avanti la realizzazione di un **Digital Twin Dinamico** che consente il monitoraggio del traffico in tempo reale su tutta la rete, la previsione

¹⁹ [NEC technology predicts sudden traffic congestion in real time using optical fiber cables](#)

dell'evoluzione della congestione e l'ottimizzazione delle misure di risposta. Sono attualmente in corso sperimentazioni pratiche in stretta collaborazione con le autorità stradali, con l'obiettivo di un'implementazione pratica entro l'anno 2026.



Figura 22: La fibra un sistema sensoriale distribuito

Il modello basato sull'Intelligenza Artificiale di NEC fornisce previsioni in tempo reale e ad alta precisione sullo sviluppo e la risoluzione di congestioni improvvise.

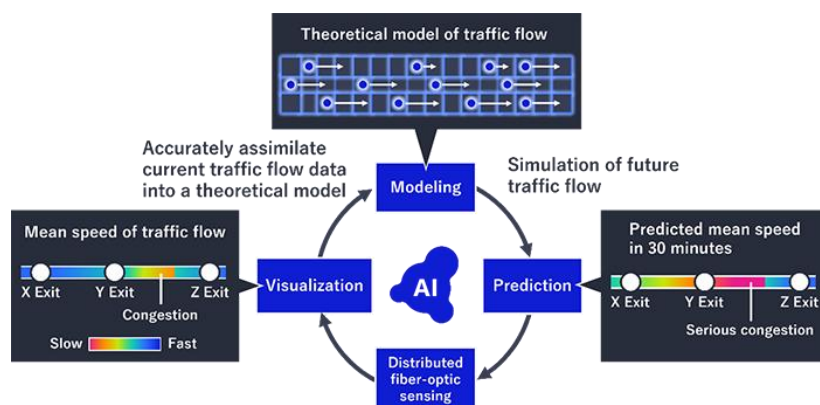


Figura 23: Il modulo AI di NEC FOSS

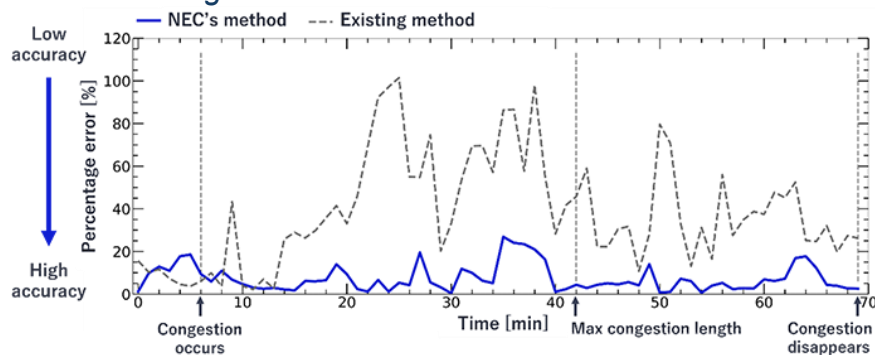


Figura 24: Accuratezza delle rilevazioni NEC FOSS

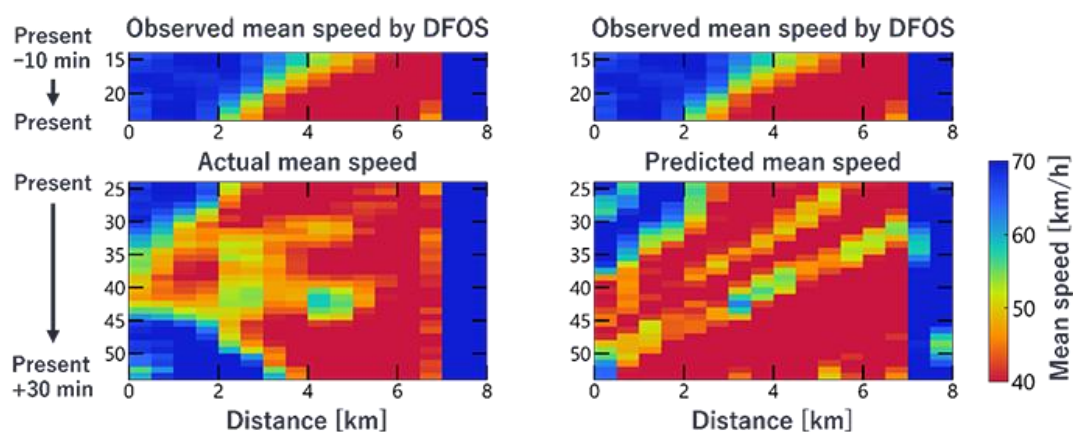


Figura 25: La velocità rilevata

La piattaforma NEC FOSS integra DFOS con AI per classificare eventi e gestire traffico. Ad esempio, è possibile stimare i rischi alla guida causati dalla velocità, incidenti, congestioni di traffico e condizioni meteorologiche, quali ad esempio pioggia e congelamento del manto stradale. Innumerevoli le applicazioni.



Figura 26: Pioggia e allagamenti del manto stradale

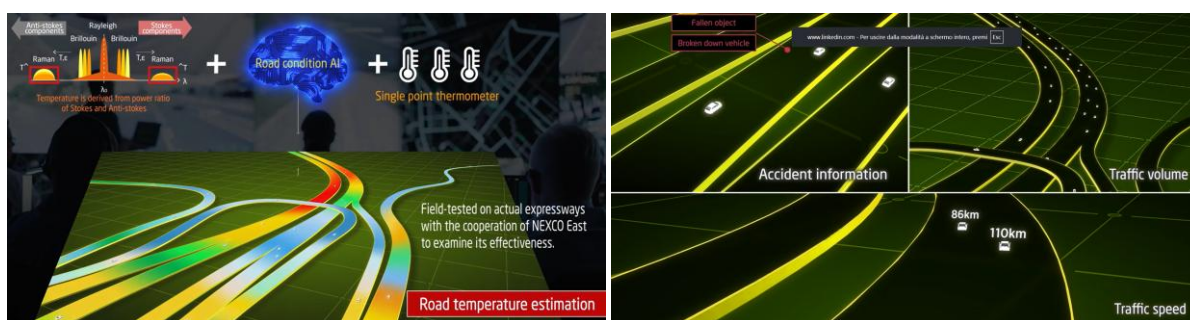


Figura 27: Alte temperature, incidenti o ostacoli in carreggiata (es. massi o carichi caduti)



Figura 28: Stima dei rischi di guida

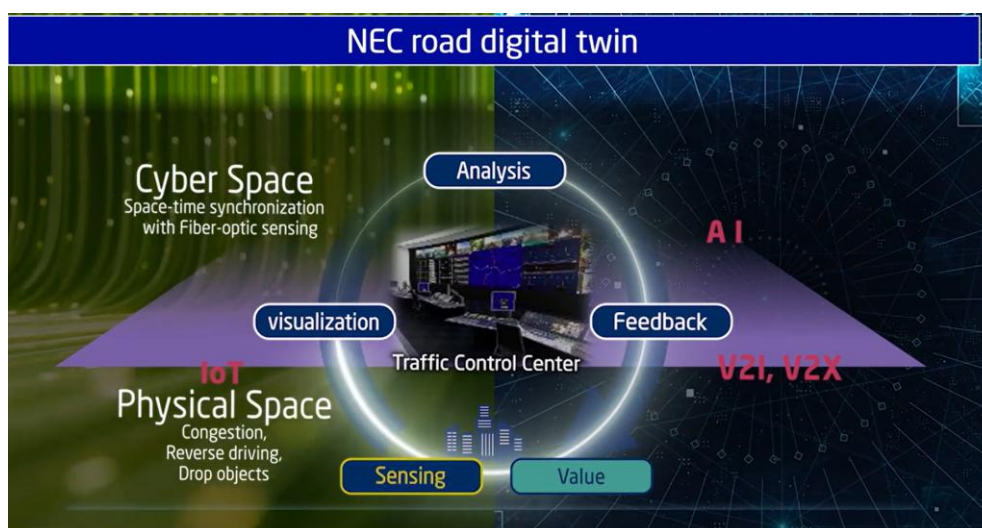


Figura 29: Un Sistema integrato per il NEC Road Digital Twin

8.8. La guida autonoma: il sistema cooperativo infrastruttura-veicolo

In parallelo al progetto NEXCO, NEC sta testando le tecnologie in ambienti reali di guida autonoma²⁰, come il tratto sperimentale di 3,1 km della Shin-Tomei Expressway (nei pressi dello svincolo Shin-Gotemba Interchange). L'obiettivo è creare una rete in cui l'infrastruttura e i veicoli collaborano in sincronia, condividendo informazioni su rallentamenti, ostacoli o pericoli imminenti. Qui è stato implementato un "Infrastructure-Cooperative Autonomous Driving System", che integra i dati FOSS con i sistemi di bordo dei veicoli.

²⁰ [Testing the latest technologies for the era of autonomous driving on an expressway under construction: Real-time utilization of information from roadways](#)

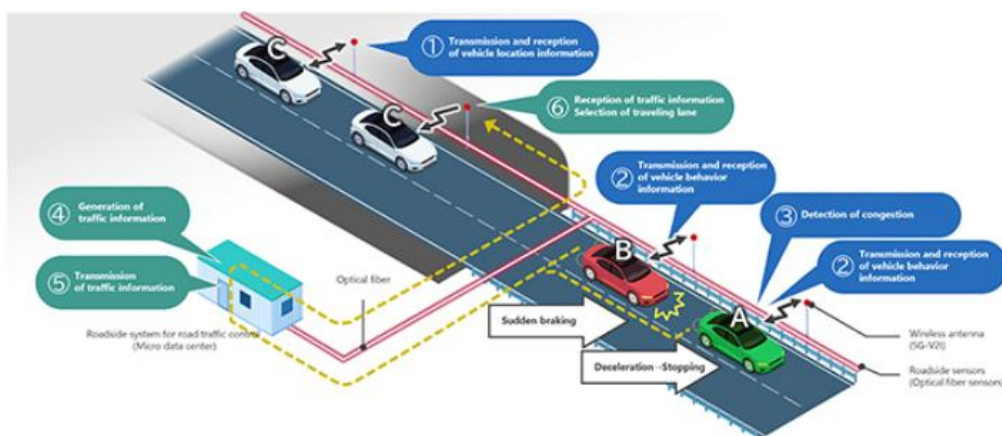


Figura 30: Diagramma del sistema di guida cooperativa basato su infrastruttura NEC.

La soluzione NEC consente:

- Elaborazione distribuita per tratte di poche centinaia di metri, riducendo la latenza informativa
- sistema di guida autonoma cooperativo tra infrastrutture che utilizza in tempo reale le informazioni provenienti dai sensori installati a lato della strada
- Comunicazione istantanea di eventi (“veicolo in rallentamento a 1 km”) ai mezzi in arrivo;
- Ottimizzazione cooperativa di velocità e traiettorie tra i veicoli, migliorando sicurezza e fluidità del traffico

Questa architettura rappresenta una base tecnologica cruciale per la **mobilità autonoma e connessa**, capace di fondere i dati dei veicoli e delle infrastrutture in un'unica rete intelligente. La rete autostradale è suddivisa in sezioni di poche centinaia di metri, ciascuna dotata di capacità di elaborazione locale. Gli eventi vengono rilevati e trasmessi immediatamente ai veicoli nell'area interessata, riducendo la latenza e migliorando la sicurezza.

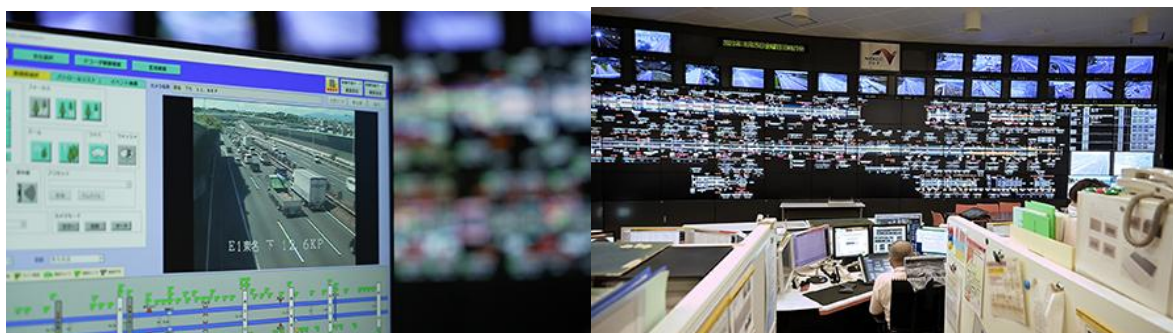


Figura 31: Il controllo del traffico in tempo reale

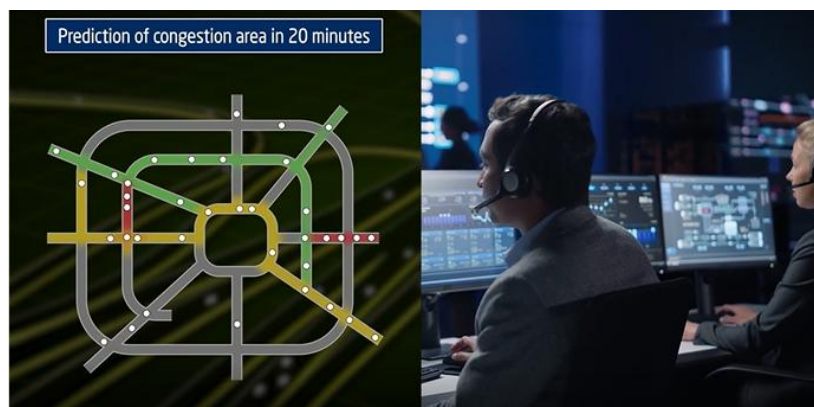


Figura 32: Prevenire situazioni critiche quali congestioni del traffico

Ciò che distingue questo sistema è la sua capacità di rilevare situazioni di traffico improvvise che si verificano a centinaia di metri o decine di chilometri di distanza migliorando così la sicurezza e riducendo al minimo la congestione del traffico grazie all'utilizzo costante delle informazioni sul traffico per l'intera carreggiata.



Figura 33: Servizi integrati per la Smart City

Ad esempio, trasmettendo immediatamente informazioni come "un'auto sta rallentando un chilometro più avanti" ai veicoli che seguono, questi ultimi possono reagire di conseguenza adottando misure come il cambio di corsia o la regolazione della velocità. Tradizionalmente, le informazioni su tutti i percorsi autostradali venivano solitamente raccolte temporaneamente presso un centro di controllo stradale centrale, prima di essere elaborate e gestite collettivamente. Tuttavia, poiché le informazioni vengono raccolte da diverse sedi e periodicamente chiuse prima dell'elaborazione, si verificano dei ritardi temporali.

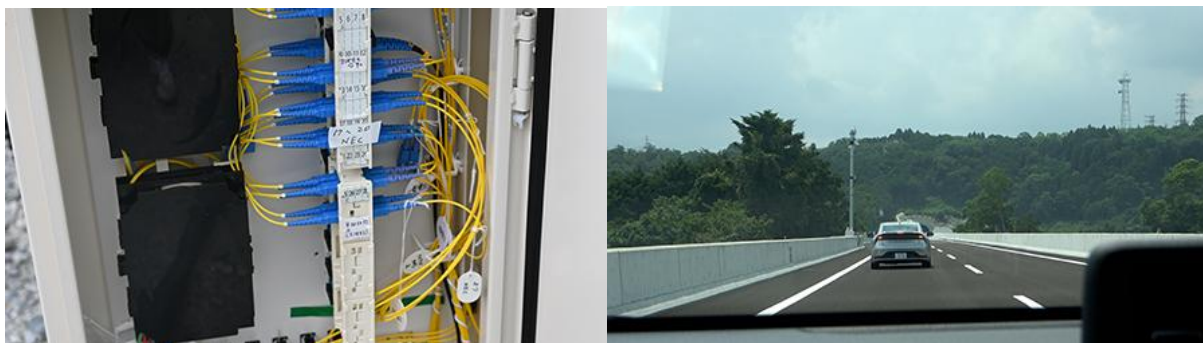


Figura 34: Al lavoro per il Digital Twin dinamico

8.9. Monitoraggio della qualità della pavimentazione stradale

Il sistema FOSS può rilevare vibrazioni anomale associate a deterioramenti della superficie stradale, come buche, crepe o asfalto usurato. Nel 2024 era stato elaborato uno studio di fattibilità per il monitoraggio della rugosità stradale a Milano, con l'obiettivo di identificare sezioni di pavimentazione degradata e correlare i dati FOSS con metriche tradizionali come l'IRI (International Roughness Index). Questa capacità permette una manutenzione predittiva, riducendo i costi e migliorando la sicurezza degli utenti.

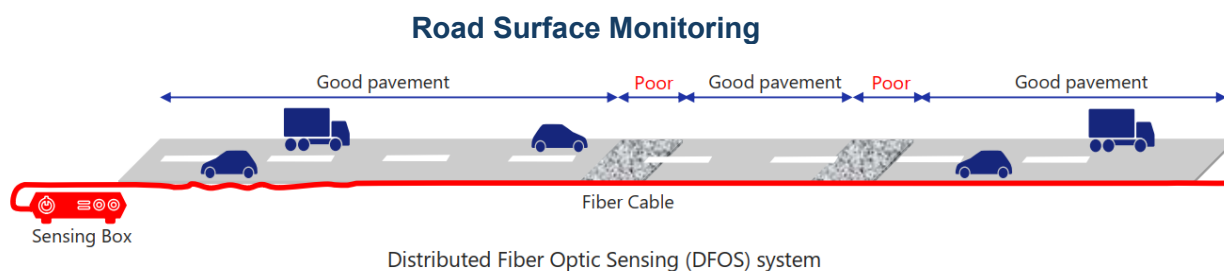


Figura 35: Monitoraggio del manto stradale per manutenzione preventiva

9. Sicurezza perimetrale e integrazione con sistemi di sorveglianza

I sistemi DFOS possono essere utilizzati per la rilevazione di intrusioni in aree sensibili (aeroporti, centrali energetiche, confini), cosiddetti Intelligent Perimeter Intrusion Detection System. Una sperimentazione ha rilevato con precisione intrusioni come tagli, scalate o lanci di oggetti, con una classificazione automatica basata su AI e una localizzazione con risoluzione di 1 metro. Il sistema può anche attivare telecamere o droni in caso di allarme, superando i limiti dei punti ciechi delle telecamere.

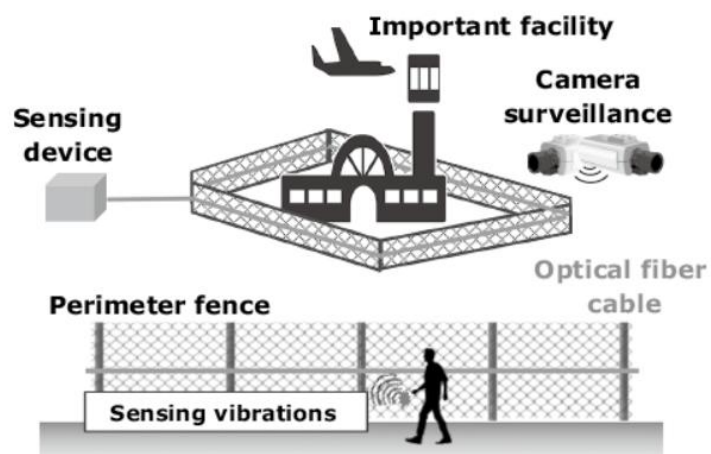
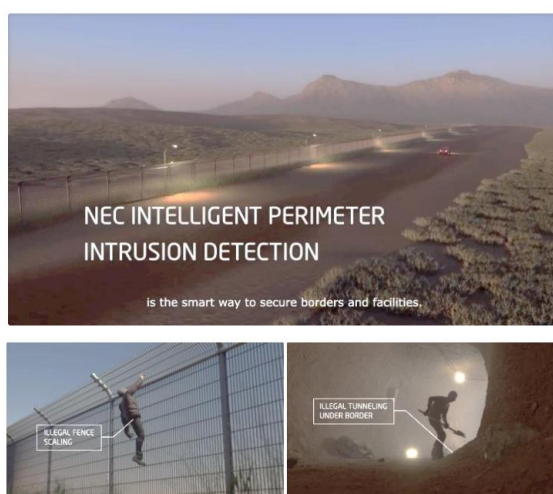


Figura 36: Rilevazione di intrusione



National Borders



Data Centers



Prisons



Solar Farms



Airports



Nuclear Power Plants



Military Bases

Figura 37: Sistemi DFOS per rilevare intrusioni perimetrali

10. Il Quadro normativo

Benché DFOS di per sé non raccolga dati personali, l'impiego dell'AI nei sistemi di analisi solleva questioni di trasparenza e compliance. L' AI Act UE impone requisiti di "explainability" e di gestione dei bias per i sistemi ad alto rischio. Le aziende che sviluppino motori AI per DFOS dovranno garantire che gli algoritmi siano conformi a tali regole (per es. auditabilità delle decisioni). Le infrastrutture critiche (tra cui reti in fibra) rientrano nelle direttive UE più recenti. Di seguito solo alcune delle principali.

- **NIS2 (UE 2022/2555)**: obbliga gli operatori di servizi essenziali e digitali (OES/OID) a migliorare la cyber-resilienza. Le aziende di telecomunicazioni e utility devono analizzare costantemente i rischi (incorporando anche quelli "fisici" come minacce alla fibra) e adottare misure di mitigazione²¹.
- **RCE/KRITIS**: normative tedesche (applicabili anche in Italia nel recepimento) che richiedono il monitoraggio continuo dei link in fibra per prevenire guasti fisici. Sistemi come DFOS offrono una soluzione diretta a queste richieste, come sottolineato dalla VIAVI²² Solutions.
- **GDPR (Reg. UE 2016/679)**: anche se i dati DFOS sono prevalentemente non personali, l'integrazione con altri sistemi di monitoraggio urbani potrebbe porre problematiche di privacy (es. video o audio abbinati alle fibre). Le organizzazioni devono garantire protezione dei dati sensibili e minimo trattamento necessario.
- **AI Act (in vigore dal 2025)**: sancisce nuovi obblighi per sistemi di IA "ad alto rischio", inclusi quelli utilizzati nelle reti e infrastrutture. I fornitori di soluzioni come NEC FOSS dovranno implementare valutazioni di conformità e misure di trasparenza per gli algoritmi di analisi anomalie.

11. Trend tecnologici e modelli emergenti

Diverse tendenze emergenti stanno modellando l'evoluzione del settore DFOS. Applicazioni e servizi a valore aggiunto stanno man mano affermandosi.

Evoluzione di AI e Machine Learning: classificazione automatica degli eventi e manutenzione predittiva sempre più sofisticate

Digital Twin delle Infrastrutture

- Simulazioni predittive ad alta fedeltà
- Manutenzione predittiva basata su modelli fisici real time
- Ottimizzazione di design per nuove infrastrutture

Edge Computing e 5G/6G

²¹ [viavisolutions.com](https://www.viavisolutions.com)

²² <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/complying-eu-directives-nis-2-rce-and-kritis-white-papers-books-en.pdf#:~:text=2,downtime%2C%20the%20ONMSi%20ensures%20the>

- Edge processing per ridurre latenza e banda necessari verso cloud
- Network slicing 5G per garantire QoS ai flussi DFOS critici
- 6G sensing-native networks con DFOS integrato nativamente

IoT e Sensor Fusion

- Sensori ambientali (meteo, qualità aria)
- Dati veicoli connessi (V2I, V2X)
- Guida autonoma cooperativa
- Droni per ispezioni mirate
- Multi-modal sensing per maggiore accuratezza e ridondanza
- **Fiber as a Service (FaaS)** modelli di business basati su servizi di sensing offerti dagli operatori Telecom:
 - **Sensing-as-a-Service**
 - Operatori Telecom offrono servizi di monitoraggio a terze parti
 - Pricing basato su lunghezza monitorata, frequenza dati, SLA
 - **Data-as-a-Service**
 - Vendita di dati aggregati e anonimizzati (es. flussi traffico per pianificazione urbana)
 - Marketplace dati per ricercatori e aziende
 - **Monitoraggio ambientale e cambiamento climatico**
- Rilevamento inquinamento acustico urbano
- Monitoraggio temperatura globale tramite cavi sottomarini
- Early warning per eventi climatici estremi

Agricoltura di precisione

- Monitoraggio umidità del suolo tramite DFOS interrati
- Ottimizzazione irrigazione su larga scala
- Rilevamento stress idrico delle coltivazioni

Medicina e healthcare

- Sensori DFOS wearable per monitoraggio parametri vitali
- Smart buildings con monitoraggio benessere occupanti
- Rilevamento cadute e emergenze in strutture assistenziali

12. Conclusioni

La tecnologia **Distributed Fiber Optic Sensing** non è solo un'evoluzione tecnica: è un **cambio di paradigma** nella gestione delle infrastrutture critiche. Le evidenze illustrate in questo white paper confermano che DFOS trasforma asset esistenti — cavi in fibra ottica — in **reti intelligenti di sensori continui** che insieme all'AI e IoT abilita la realizzazione di **Digital Twin dinamici** di strade, ponti e reti urbane per una governance proattiva, predittiva e resiliente delle infrastrutture.

La **gestione sostenibile** rappresenta uno dei punti di forza più rilevanti: l'ottimizzazione del traffico riduce code e tempi di percorrenza con conseguente **diminuzione delle emissioni di CO₂**; il monitoraggio in tempo reale **previene disastri ambientali** (perdite in oleodotti, cedimenti strutturali); la digitalizzazione delle reti idriche **migliora l'efficienza idrica** riducendo sprechi; l'utilizzo di fibra ottica esistente e di sensori passivi **minimizza il consumo energetico** rispetto ai sistemi tradizionali. Con i risultati quantificati dei casi di studi internazionali, un mercato in crescita a doppia cifra, normative europee che ne impongono l'adozione e benefici economico-ambientali comprovati, DFOS rappresenta **la soluzione scalabile e sostenibile** per trasformare infrastrutture critiche in sistemi intelligenti, sicuri e resilienti.

La progressiva maturazione della tecnologia ne determinerà la standardizzazione, con benefici attesi in termini di efficienza operativa e di contenimento di costi e investimenti. Le infrastrutture del futuro non saranno solo connesse: **sapranno ascoltare, prevedere e ottimizzare le risorse**. La fibra ottica — già presente sotto le nostre strade, nei nostri edifici e nei nostri oceani — è pronta a diventare il **sistema nervoso delle Smart Infrastructure del XXI secolo**.

Bibliografia e Fonti

1. Grand View Research (2024). "Distributed Fiber Optic Sensor Market Size, Share & Trends Analysis Report 2024-2030". <https://www.grandviewresearch.com>
2. MarketsandMarkets (2024). "Distributed Fiber Optic Sensor Market - Global Forecast to 2030". <https://www.marketsandmarkets.com>
3. Precedence Research (2024). "Distributed Fiber Optic Sensor Market Size, Share & Trends 2024-2034". <https://www.precedenceresearch.com>
4. Grand View Research (2024). "Distributed Fiber Optic Sensor in Oil & Gas Market Report 2024-2030". <https://www.grandviewresearch.com>
5. NEC Corporation (2022). "NEC Fiber Optic Smart Sensing Solutions for Telecom Network Infrastructure". <https://www.necnss.com>
6. NEC Today (2023). "Protecting Fiber Optic Networks with Real-Time Monitoring and AI". <https://www.nectoday.com>
7. NEC Press Release (2022). "NEC Develops Fiber-Optic Sensing Technology to Monitor Road Conditions and Predict Traffic Congestion". <https://www.nec.com/en/press/>
8. NEC Corporation (2024). "Real-time Detection of Abnormal Conditions on Expressways - Revolutionary Technology". <https://www.nec.com>
9. NEC Corporation: Real-time detection of abnormal conditions on expressways [NEC Official]
10. Open Fiber (2019-2023). "Progetto MEGLIO - Measuring Earthquakes signals Gathered with Laser Interferometry on Optic Fibers". Partner: INRIM, INGV, Metallurgica Bresciana.
11. Open Fiber (2020-2023). "Progetto FaaS - Fiber as a Sensor". Partner: Politecnico di Torino, INGV, SM Optics.
12. Trinity College Dublin (2025). "ICON Project - Transforming Fiber Optic Cables into Active Sensors" (Horizon Europe, 5M€). <https://www.tcd.ie>
13. ECSTATIC Project (2023-2026). "European Cabled Seafloor Observatories: Advancing seismic and Tsunami Interception Capability" (Horizon Europe, 4M€). Partner italiani: Università L'Aquila, Padova, Sparkle.
14. SENSEI Project (Horizon Europe). "Smart European Networks for Sensing the Environment and Internet Quality". Partner: Politecnico Torino, INRIM, INGV, Open Fiber, GARR.
15. Wired Italia (2023). "Fibra ottica per rilevare i terremoti, tutti i progetti italiani". <https://www.wired.it>
16. NEXCO Central Japan / NEC (2022). "AI-based Traffic Monitoring System on Shin-Tomei Expressway". Press Release e Technical Reports.
17. Sensuron (2023). "Fiber Optic Sensors: A Game Changer in Infrastructure Monitoring". Case study Keystone Pipeline. <https://www.sensuron.com>
18. Movyon / COM.TEL INNOVATION (2025). "Proof of Concept NEC FOSS su Rete Autostradale Italiana" - Report preliminare (giugno-settembre 2025).

19. ENISA (2023). "NIS2 Directive - Technical Implementation Guidance for Network Operators". <https://www.enisa.europa.eu>
20. European Commission (2024). "Resilience of Critical Entities Act - Directive (EU) 2022/2557". <https://eur-lex.europa.eu>
21. European Commission (2024). "AI Act - Regulation (EU) 2024/1689 on Artificial Intelligence". <https://eur-lex.europa.eu>
22. IEC (2023). "IEC 61757 Series - Fibre Optic Sensors". International Electrotechnical Commission. <https://www.iec.ch>
23. Viavi Solutions (2021). "Utilizing Fiber Optic Sensing Technology to Detect Exposed Direct-Buried Telecom Cables - White Paper". <https://www.viavisolutions.com>
24. Ashry, Islam et al. (2022). "A Review of Distributed Fiber-Optic Sensing in the Oil and Gas Industry". Journal of Lightwave Technology. <https://www.researchgate.net>
25. IEEE Communications Society (2023). "Turning Fiber into a Sensing System: The Magic of Fiber Optics Sensing". Technical white paper.
26. Governo italiano - PNRR (2021). "Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - Missione 2: Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica". Investimenti settore idrico: 900M€. <https://www.governo.it>
27. European Commission - Horizon Europe (2021-2027). "Work Programme - Climate, Energy and Mobility". Funding opportunities per progetti DFOS e smart infrastructure. <https://ec.europa.eu>
28. Agenda Digitale (2023). "PNRR e digitalizzazione delle infrastrutture idriche italiane". <https://www.agendadigitale.eu>
29. Comunicato stampa Milano Serravalle – Milano Tangenziali S.p.A. / NEC Italia S.p.A., “Insieme per innovare il monitoraggio del traffico con la tecnologia NEC FOSS”, 17 settembre 2024.
30. NEC (UK) Press Release, Milano Serravalle – Milano Tangenziali S.p.A. and NEC Italia S.p.A. Together to innovate traffic monitoring with NEC Fiber Optic Smart Sensing (FOSS) technology, 17 settembre 2024. (NEC)
31. NEC Labs — First field trial of monitoring vehicle traffic on multiple routes by using photonic switch and distributed fiber-optics sensing system on standard telecom networks (case study / white paper on earlier trials demonstrating feasibility). (nec-labs.com)
32. Articolo (settore infrastrutture): Milano Serravalle – Milano Tangenziali spa e NEC Italia spa, per il monitoraggio del traffico con tecnologia NEC FOSS (Strade & Autostrade), 17 settembre 2024. (Strade & Autostrade Online)

Glossario tecnico

AI (Artificial Intelligence) Intelligenza Artificiale. Insieme di tecniche computazionali che permettono ai sistemi di apprendere, ragionare e prendere decisioni.

Backscattering: Fenomeno di riflessione della luce in direzione opposta alla propagazione, causato da irregolarità nel mezzo di trasmissione.

Brillouin Scattering: Tipo di scattering ottico sensibile a deformazioni meccaniche (strain) e temperatura, utilizzato per misure di sollecitazione strutturale.

CAGR (Compound Annual Growth Rate): Tasso di crescita annuale composto, misura la crescita media annuale di un mercato.

DAS (Distributed Acoustic Sensing): Sistema DFOS per rilevamento di vibrazioni e segnali acustici.

Dark Fiber: Fibra ottica posata ma non utilizzata per trasmissione dati.

DFOS (Distributed Fiber Optic Sensing): Tecnologia di sensoristica distribuita basata su fibra ottica.

Digital Twin: Gemello digitale. Rappresentazione virtuale dinamica di un asset fisico, aggiornata in tempo reale con dati da sensori.

DSS (Distributed Strain Sensing): Sistema DFOS per misura di deformazioni strutturali.

DTS (Distributed Temperature Sensing): Sistema DFOS per misura distribuita della temperatura.

Edge Computing: Elaborazione dei dati in prossimità della fonte (edge) anziché in cloud centralizzato, per ridurre latenza.

EMI: Electromagnetic Interference

FaaS (Fiber as a Service): Modello di business in cui operatori offrono servizi di sensing basati su fibra ottica.

FBG (Fiber Bragg Grating): Tipo di sensore in fibra ottica puntuale, basato su reticoli di diffrazione.

FOSS (Fiber Optic Smart Sensing): Piattaforma NEC per sensoristica intelligente in fibra ottica.

Interrogatore ottico: Dispositivo che emette impulsi laser nella fibra e riceve/analizza i segnali riflessi.

IoT (Internet of Things): Internet delle Cose. Rete di dispositivi fisici connessi che raccolgono e scambiano dati.

Machine Learning (ML): Sottoinsieme dell'AI focalizzato su algoritmi che apprendono da dati senza programmazione esplicita.

NIS2 (Network and Information Security Directive 2): Direttiva UE sulla sicurezza delle reti e dell'informazione per entità critiche.

Rayleigh Scattering: Tipo di scattering ottico sensibile a vibrazioni meccaniche, base dei sistemi DAS.

Raman Scattering: Tipo di scattering ottico sensibile alla temperatura, base dei sistemi DTS.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): Sistema di controllo e acquisizione dati per monitoraggio industriale.

Time-of-flight: Tempo di volo. Tecnica per determinare la distanza misurando il tempo impiegato da un segnale per percorrere una tratta.

Limiti di responsabilità

I dati e le informazioni contenuti nel presente documento sono forniti in buona fede e Comtel Innovation S.r.l. li ritiene accurati alla data della pubblicazione. In nessun caso Comtel Innovation S.r.l. potrà essere ritenuta responsabile per eventuali danni diretti o indiretti derivanti dall'utilizzo delle informazioni qui riportate.

I dati, le analisi, le ricerche, le opinioni o i punti di vista espressi da Comtel Innovation S.r.l. non costituiscono evidenze di fatto né garanzie di risultato né costituiscono parere legale. I materiali contenuti in questo documento riflettono le informazioni e le valutazioni disponibili a novembre 2025 e sono soggetti a modifiche senza preavviso.

Comtel Innovation S.r.l. non assume alcun obbligo di aggiornare i contenuti della presente pubblicazione, né potrà essere ritenuta responsabile per qualsiasi decisione di investimento, commerciale o di altra natura assunta sulla base delle informazioni qui contenute.

Per ulteriori informazioni:



COM.TEL INNOVATION S.R.L.

Centro Studi e Insight

Via Cornaggia 58

20092 - Cinisello Balsamo (MI)

<https://www.comtelitalia.it/nec-corporation/>

Documento redatto dal Centro Studi e Insight COM.TEL INNOVATION S.r.l.
Novembre 2025

Tutti i diritti riservati. Riproduzione consentita previa citazione della fonte.