



Earth Observation Laboratory

GeoInformation PhD Programme

Tor Vergata University

Emanuele Angiuli

Inquinamento Elettromagnetico (monitoraggio, problemi e misure)

Telerilevamento e sue applicazioni:

Modellistica Elettromagnetica, Polarimetria, Interferometria, Oil Spill Detection, Ship Detection, Alga Bloom, Profili di Ozono, analisi di sensori ottici, ecc.

- Le funzioni metaboliche del corpo umano sono regolate in molti casi da correnti elettriche, è quindi plausibile domandarsi quali effetti possano provocare sul corpo umano le radiazioni elettromagnetiche che lo circondano.
- L'eventuale inquinamento elettromagnetico in generale è la conseguenza di una serie d'attività legate allo sviluppo economico e sociale.

Costi vs. Benefici
(Economia vs. Etica)

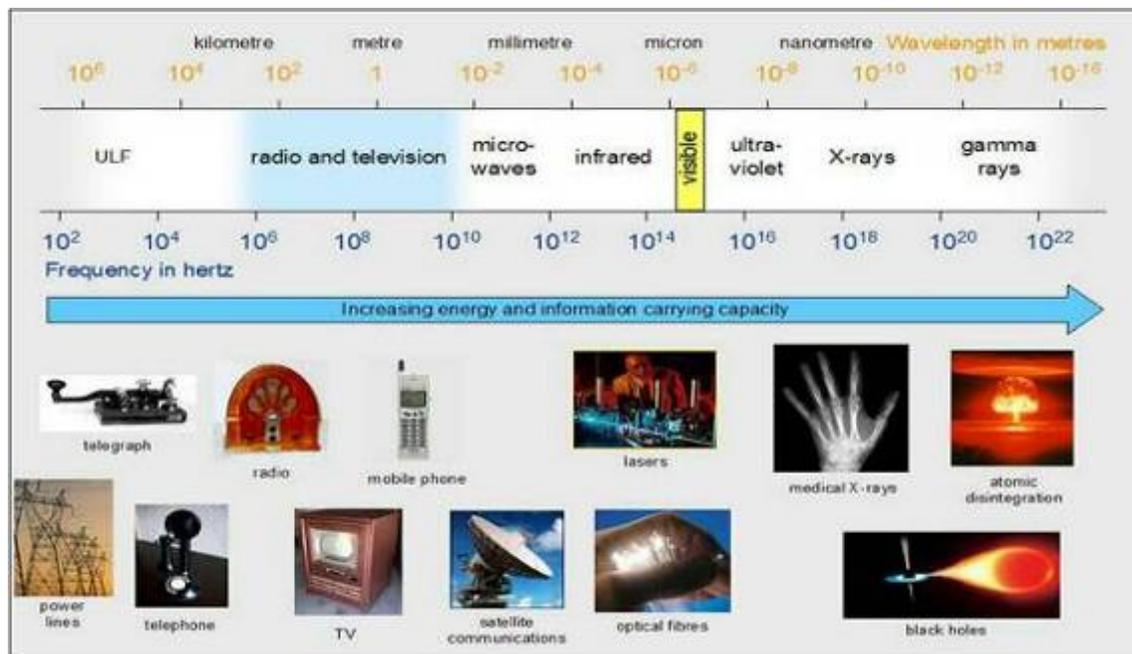
Tenendo conto dei processi d'iterazione fisica, gli effetti biologici dei campi elettromagnetici possono essere distinti in:

- effetti “**termici**”: dovuti alla trasformazione d'energia elettromagnetica in calore, in grado di provocare danni ad organi ed apparati, che possono anche risultare irreversibili.(dipende dal materiale biologico, dall'esposizione e dalle caratteristiche dei campi).
- effetti “**non termici**”: sono rappresentati da alterazioni biologiche in assenza di un incremento apprezzabile di temperatura e consistono in un'interferenza delle correnti indotte con i meccanismi fisiologici coinvolti (sistema nervoso, apparato cardiovascolare, sistema endocrino).

Considerando invece l'eventuale alterazione delle attività biologiche, gli effetti dei campi elettromagnetici vengono distinti in:

- effetti “**acuti**”: sono di tipo immediato e oggettivo, generalmente associati a valori di campo più elevati;
- effetti “**a lungo termine**”: sono invece associati a valori di campo più deboli, comprendono sia sintomi più o meno soggettivi, quali ad esempio affaticamento, irritabilità, difficoltà di concentrazione, insonnia, sia sintomi oggettivi ed in genere gravissimi quali tumori o malattie degenerative, per i quali è difficile accertare il rapporto causa - effetto.

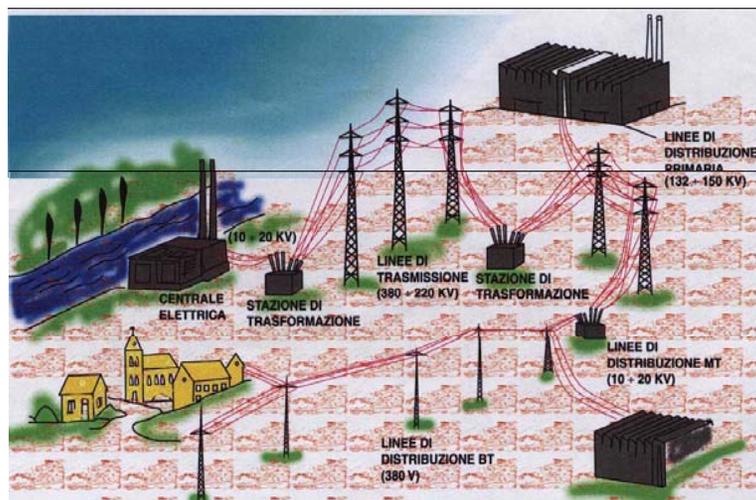
L'insieme di tutte le onde elettromagnetiche, classificate in base alla loro frequenza, costituisce lo "Spettro Elettromagnetico", che può essere diviso in 2 sezioni, a seconda che le onde siano dotate o meno di energia sufficiente a ionizzare gli atomi della materia con la quale interagiscono:



- radiazioni non ionizzanti (NIR) comprendono le radiazioni fino alla luce visibile.
- radiazioni ionizzanti (IR) coprono la parte dello spettro della luce ultravioletta ai raggi gamma.

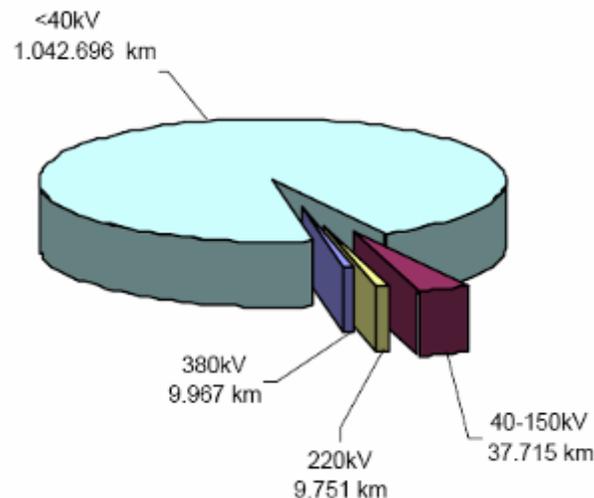
L'inquinamento elettromagnetico è prodotto da radiazioni non ionizzanti con frequenza inferiore a quella della luce infrarossa. Le radiazioni non ionizzanti si dividono in radiazioni a bassa e alta frequenza con una classificazione che si basa sulla diversa interazione che i due gruppi di onde hanno con gli organismi viventi e i diversi rischi che potrebbero causare alla salute umana.

La normativa nazionale e regionale inerente alla tutela della popolazione degli effetti dei campi elettromagnetici, disciplina separatamente le basse frequenze (elettrodotti), LF o ELF e le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, ponti radio, Stazioni Radio base per la telefonia mobile, ecc), HF.



- Centrale di produzione
- Linee ad altissima tensione (AAT):
 $V > 220$ kV (in Italia fino a 380 kV)
- Stazioni primarie
- Linee ad alta tensione (AT):
 $35 < V < 220$ kV
- Cabine primarie
- Linee a media tensione (MT):
 $1 < V < 30$ kV
- Cabine secondarie
- Linee a bassa tensione (BT):
 $V < 1$ kV

	380 kV	220 kV	Totale	Superficie kmq.	Densità mikroq.
	km di terra				
Piemonte	803	1.081	1.884	25.399	74,2
Valle d'Aosta	125	243	368	3.263	112,7
Lombardia	1.354	2.234	3.588	23.861	150,4
Trentino-Alto Adige	0	1.140	1.140	13.607	84,4
Veneto	605	1.285	1.891	18.392	102,8
Friuli-Venezia Giulia	165	245	411	7.855	52,3
Liguria	195	407	602	5.421	111,0
Emilia-Romagna	940	361	1.302	22.124	58,8
Italia settentrionale	4.187	7.006	11.193	119.922	93,3
Toscana	1.072	466	1.538	22.997	66,9
Umbria	84	168	253	8.456	29,9
Marche	220	99	319	9.694	32,9
Lazio	1.331	399	1.730	17.207	100,5
Italia centrale	2.707	1.133	3.840	58.354	65,6
Abruzzi	233	322	554	10.798	51,3
Molise	44	45	89	4.438	20,2
Campania	572	673	1.244	13.595	91,5
Puglia	1.000	162	1.162	19.362	60,0
Basilicata	219	139	358	9.992	35,9
Calabria	377	142	519	15.080	34,4
Sicilia	249	1.533	1.781	25.708	69,3
Sardegna	304	551	855	24.090	35,5
Italia meridionale e Isole	2.997	3.566	6.563	123.063	53,3
ITALIA	9.891	11.705	21.596	301.338	71,7



Gli elementi fondamentali di una linea aerea sono i seguenti:

1. struttura portante;
2. conduttori;
3. fune di guardia;
4. componenti vari (isolatori, sostegni, ecc)

• I **conduttori** sono di norma nudi e organizzati in gruppi di tre, a costituire delle terne trifase. I conduttori delle linee di trasporto ad alta tensione sono normalmente formati da un'anima centrale in corda di acciaio (preferito al rame per questioni di costo) sulla quale sono avvolti uno o due strati di fili in lega di alluminio. L'anima di acciaio è dimensionata per resistere alle sollecitazioni meccaniche possibili, come l'azione del vento, il peso di neve o ghiaccio.



In un elettrodotto, oltre a una o due terne di conduttori attivi, possono essere presenti uno o più conduttori a potenziale nullo, che sono collegati a terra in prossimità di ogni traliccio e sono chiamati **funi di guardia**. Il loro compito è quello di proteggere i conduttori di linea contro le sovratensioni di origine atmosferica, ossia contro le scariche dovute ai fulmini.



Il principale riferimento mondiale in tema di protezione dagli effetti delle radiazioni non ionizzanti è l'ICNIRP (International Commission for Non Ionizing Radiation Protection), che ha emanato nel 1998 il documento dal titolo: **“Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”**.

Criteria per limitare l'esposizione:

- **Limiti di base**: limitazioni all'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo che si fondano su effetti accertati sulla salute e su considerazioni di ordine biologico. Vengono espressi tramite grandezze fisiche strettamente correlate agli effetti sanitari.

- **Livelli di riferimento**: sono indicati ai fini pratici di valutazione dell'esposizione, in modo da determinare se vi siano probabili superamenti dei limiti di base. Alcuni sono derivati dai limiti di base attraverso misurazioni tecniche e/o modellistiche, altri si riferiscono alla percezione e agli effetti nocivi indiretti dell'esposizione.

Sono definiti mediante grandezze elettromagnetiche che caratterizzano l'ambiente esterno e che sono facilmente misurabili con una strumentazione adeguata.

Più di recente, infine, il D.P.C.M. 8 luglio 2003 è così introdotto: “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.

	Limite di esposizione	Aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi o scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiore a 4 ore giornaliere.	
Campo elettrico	5 kV/m		
Campo di induzione magnetica	100 μT	Campo di induzione magnetica	10 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore)

Obiettivi di qualità	
Campo di induzione magnetica	3 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore)

Alle frequenze di 50 Hz, e più in generale alle ELF, le distanze di interesse dalla sorgente del campo elettromagnetico sono molto piccole rispetto alle lunghezze d'onda.

Esempio

Frequenza = 50 Hz

$$\lambda = v/f = 3 \cdot 10^8 / 50 = 6 \cdot 10^6 \text{ m} = 636 \text{ m}$$

Il campo elettrico e il campo magnetico vengono solitamente calcolati trascurando nelle equazioni di Maxwell i termini in cui compaiono le derivate rispetto al tempo.

In altre parole i campi, pur se variabili nel tempo, vengono considerati in pratica come nel caso statico, dove compaiono solo i termini di sorgente e non quelli di mutua generazione.

$$\vec{E} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \sum_{k=0}^{NF} \int_{C_k} \frac{\rho}{r^3} \vec{r} \, dl$$

$$\vec{H} = \frac{1}{4 \pi} \sum_{k=0}^{NA} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times \vec{dl}$$

Fornire una descrizione esatta dei livelli di campo elettrico/magnetico in ogni punto dell'area interessata da un elettrodotto è alquanto complicato, specialmente nelle zone prossime ai piloni che hanno una struttura metallica. Sia le valutazioni teoriche, che le misure sperimentali mostrano comunque che a parità degli altri parametri, i valori di campo sono tanto minori quanto è maggiore l'altezza dei conduttori dal suolo, per cui le zone di maggior interesse ai fini della protezione sono quelli al centro delle campate, dove i conduttori sono più vicini al suolo.

Il campo elettrico è praticamente verticale al di sotto dei conduttori, infatti la componente orizzontale perpendicolare alla linea è percentualmente apprezzabile solo ad una distanza laterale dal centro dei conduttori pari a due o tre volte l'altezza dal suolo di questi, dove peraltro l'intensità complessiva del campo è molto più bassa del valore massimo. La componente orizzontale parallela alla linea è praticamente trascurabile. L'intensità del campo elettrico dipende principalmente dalla tensione della linea.

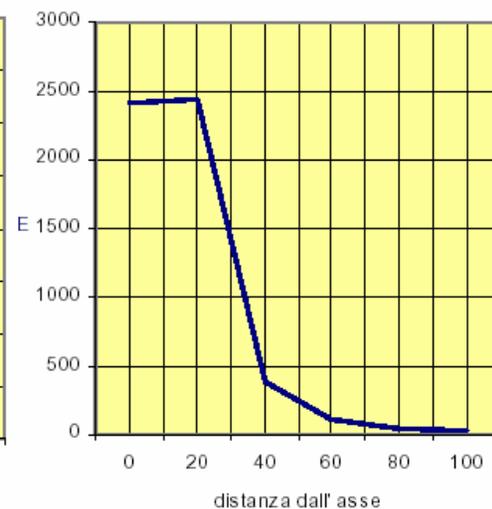
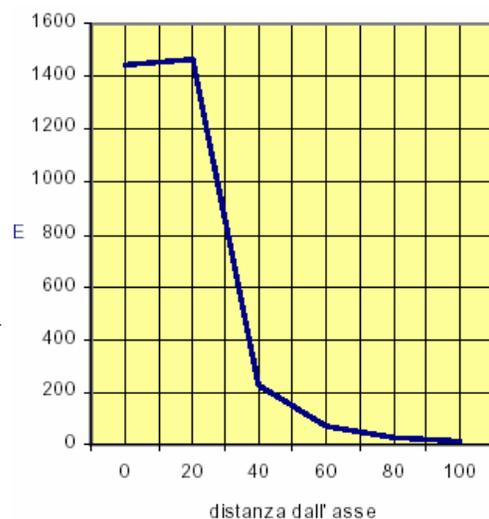
Inoltre dipende da:

- distanza dalla linea
- dall'altezza dei conduttori da terra
- dalla disposizione dei conduttori
- dalla disposizione delle fasi nelle linee

Il campo elettrico al suolo è spesso ridotto a causa dell'effetto schermante dovuto agli oggetti presenti nelle vicinanze quali alberi, edifici, recinti.

In particolare gli edifici, oltre a produrre una riduzione del campo elettrico nelle immediate vicinanze, schermano anche i loro ambienti interni.

Grazie all'effetto di schermo delle pareti, all'interno degli edifici costruiti nelle vicinanze delle linee elettriche il livello di campo elettrico risulta tipicamente essere tra 10 e 100 volte minore rispetto a quello esterno, in relazione alla struttura dell'edificio e ad al tipo di materiale usato per la costruzione.



All'intensità del campo magnetico contribuiscono le componenti orizzontale e verticale ortogonali alla linea, mentre la componente orizzontale parallela alla linea è ancora trascurabile. L'intensità del campo magnetico generato da una linea elettrica dipende principalmente dall'intensità delle correnti che circolano nei conduttori.

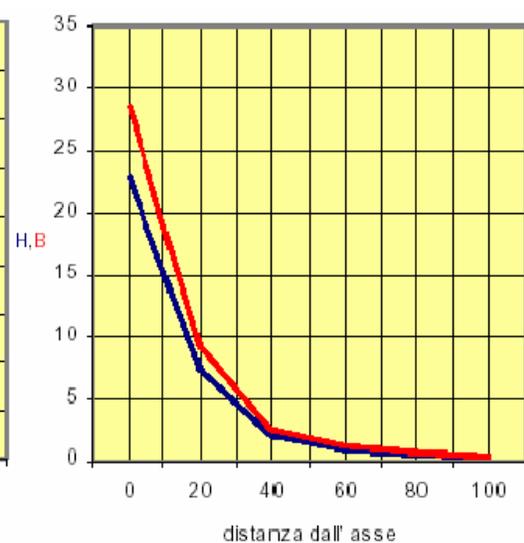
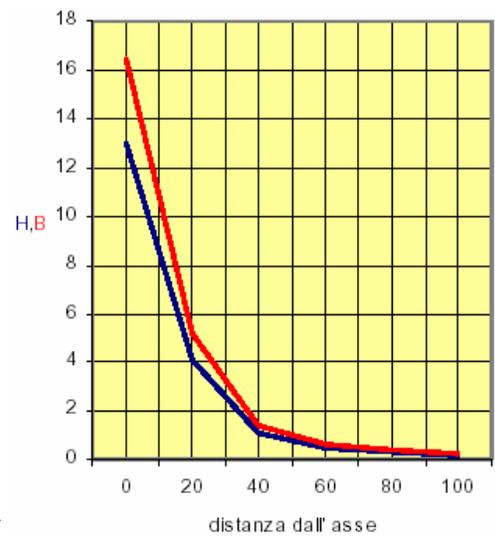
Considerato che l'intensità di corrente sulla linea può variare considerevolmente durante il giorno a seconda della richiesta di energia, anche l'intensità del campo magnetico varia; in genere raggiunge i valori minimi durante le ore notturne.

Il campo magnetico dipende inoltre:

- dalla distanza dalla linea
- dall'altezza dei conduttori da terra
- dalla disposizione dei conduttori
- dal valore delle fasi per le linee con più terne

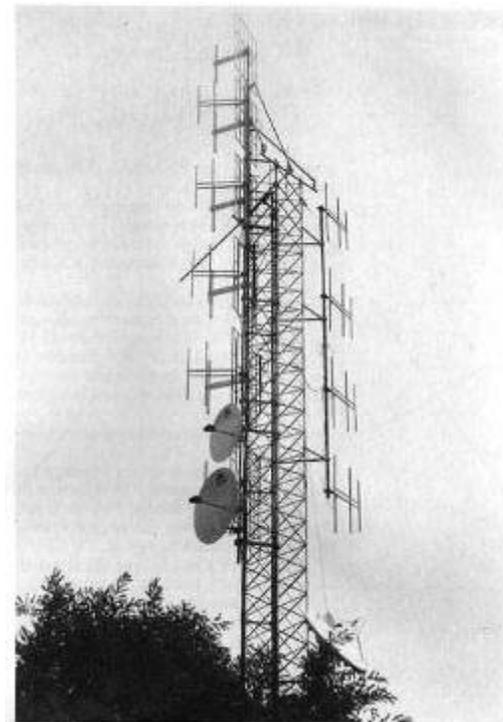
Contrariamente al campo elettrico, non hanno alcun effetto schermante oggetti ed edifici presenti nelle vicinanze.

All'interno di edifici costruiti in prossimità di linee elettriche il campo magnetico non viene schermato e risulta confrontabile con quello esterno.





Quando si parla di campi elettromagnetici ad alta frequenza, si intende, in genere, quei campi compresi nella banda delle radiofrequenze (RF da 100 kHz a 300 MHz e delle microonde (MO da 300 MHz a 300 GHz). Le principali sorgenti sono gli apparati utilizzati per scopi terapeutici ed industriali (radar e marconiterapia, risonanza magnetica, macchine per l'incollaggio della plastica, ecc. alcuni dispositivi domestici (telefoni cellulari, babyphone, forni a microonde, ecc.) e tutti gli apparati per telecomunicazioni (trasmittenti radiotelevisive antenne per la telefonia cellulare, radar, ponti radio, ecc.).



Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 è così introdotto: “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”.

A questo decreto vanno aggiunte le diverse normative che si sono sviluppate in ambito regionale e comunale e che hanno reso possibile una serie di provvedimenti più restrittivi per le emissioni a HF.

Banda di frequenza	Intensità di campo Elettrico (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
0.1 - 3 MHz	60	0.2	.
3 - 3000 MHz	20	0.05	1
3 - 300 GHz	40	0.01	4

Tabella 1 (Limiti di esposizione)

Banda di frequenza	Intensità di campo Elettrico (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
0.01 MHz - 300 GHz	6	0.016	0.10 (3 MHz-300 GHz)

Tabella 2 (Valori di attenzione)

Banda di frequenza	Intensità di campo Elettrico (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
0.01 MHz - 300 GHz	6	0.016	0.10 (3 MHz-300 GHz)

Tabella 3 (Obiettivi di qualità)

Per potere valutare i livelli di campo elettromagnetico in un determinato ambiente o intorno ad una data sorgente (e quindi valutare il potenziale rischio a cui è sottoposta la popolazione residente nelle vicinanze) occorre realizzare campagne di misura oppure applicare dei metodi teorici (analitici o numerici).

Questi ultimi, quando applicabili (il che richiede situazioni schematizzabili in modo sufficientemente semplice), risultano più rapidi, pratici, ed economici delle campagne di misura.

$$S = E \times H \quad \longrightarrow \quad S = E^2/Z_0 = Z_0 \cdot H^2 = E^2/377 = 377 \cdot H^2 \quad [\text{W/m}^2]$$

$$E(R, \theta, \varphi) \cong \frac{\sqrt{30 P G(\theta, \varphi)}}{R}$$

per $R > 2L/\lambda$ dove P è la potenza d'ingresso, L è la massima delle dimensioni dell'antenna e λ è la lunghezza d'onda.

$$G(\theta, \varphi) = G_M D_v(\theta) D_H(\varphi)$$

$$D_v(\theta) \text{ e } D_H(\varphi)$$

G_M è il massimo guadagno dell'antenna

SAR (Rapporto di Assorbimento Specifico) $SAR = dW/dm = dW/(\rho dV)$ [J/kg]

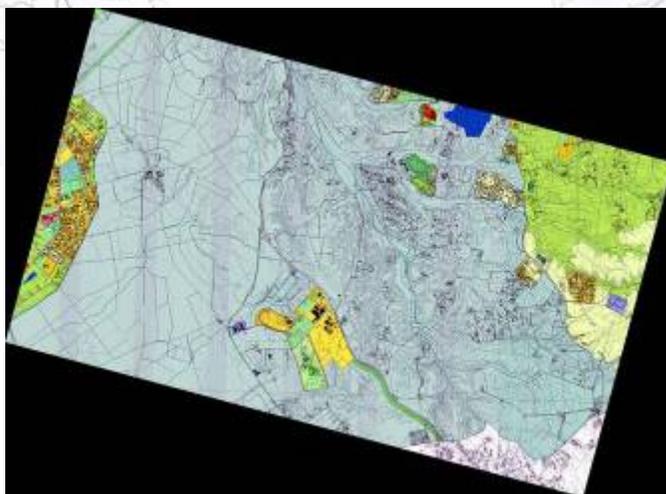
ELF

- Messa a norma delle linee esistenti (riduzioni correnti di esercizio, smantellamento tratte incriminate)
- Ammodernamento della rete di distribuzione (linee aeree compatte, cavi interrati)

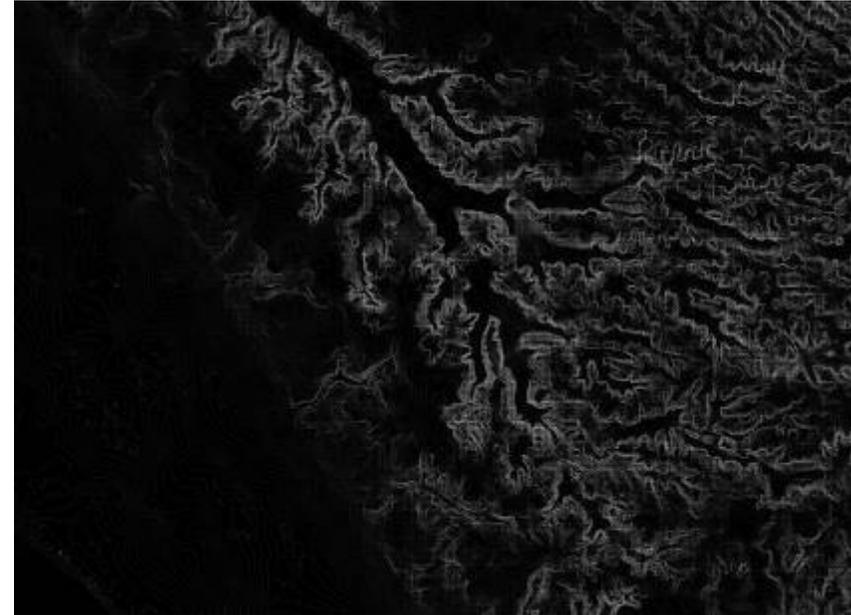
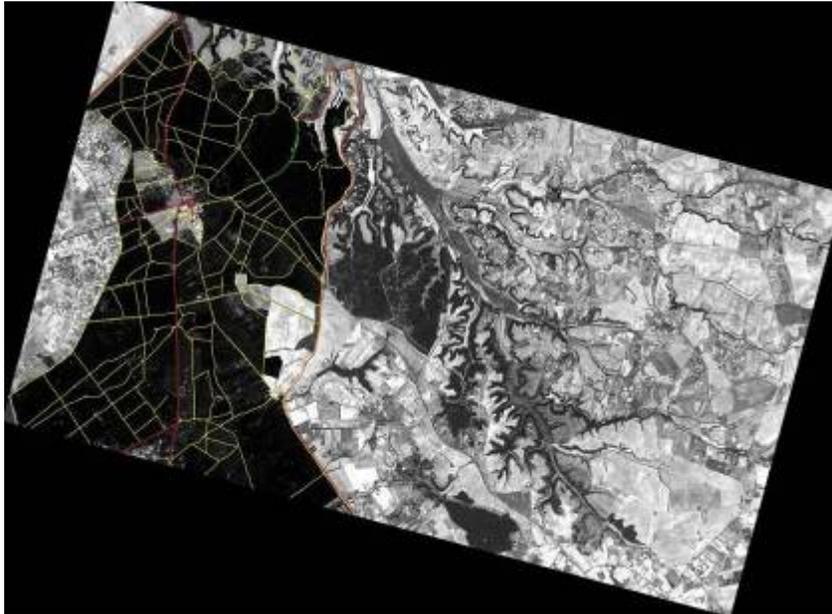
HF

- Messa a norma impianti esistenti (riduzioni campi generati nei vari casi)

- Consultare per lo più documenti cartacei (mappe catastali, piani regolatori, ecc.) poco pratici e ingombranti.
- Servirsi di immagini aeree molto costose .
- Restrizioni normative dal punto di vista dell'inquinamento elettromagnetico.
- Restrizioni normative dal punto di vista dell'impatto ambientale.
- Scale e sistemi di riferimento diversi e sconosciuti.



L'uso del dato satellitare consente una visione dettagliata e ricca di informazioni sulla zona considerata



La fusione di immagini satellitari e strati informativi differenti (carte stradali, piani regolatori, ecc) permette di generare una struttura multistrato di facile utilizzo ed accesso.

Main Widget

field value

Map Info | File Info

Pixel Location: [ROW, COL] [260,628]

Image Location:
N 4632240.7 [m] E 307586.56 [m]
Lat: 41.824095 Lon: 12.683102

Distance:

FRASCATI

Runtime App | ESPLORA LF | Main Widget | 15.47

Main Widget [Window Icons]

[Navigation Icons]

prova valore campo

Map Info | File Info

Pixel Location: [ROW, COL] [284,25]
 Image Location:
 N 4632271.0 [m] E 306824.43 [m]
 Lat. 41.823637 Lon. 12.673942

Distance:
 Object 1: 131.446 [m]
 Object 2: 240.141 [m]

Interactive Object Example [Window Icons]

File Options About

Translate
 Rotate
 Scale

Select

Unselect

No current selection

Add and manipulate 3D objects. Click right button, or hit spacebar, to select an object. Click and drag left button to manipulate object.

Click right button on an object which is already selected to cycle through the tools (translate, rotate, scale)

Main Widget _ □ ×

field value

Map Info | File Info

Pixel Location: [ROW,COL] [4,326]
 Image Location:

Interactive Object Example _ □ ×

File Options About

Translate

Rotate

Scale

Select

Unselect

current selection 3D Visualization

Add and manipulate 3D objects. Click right button, or hit spacebar, to select an object. Click and drag left button to manipulate object.

Click right button on an object which is already selected to cycle through the tools (translate, rotate, scale).