

Influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica ed effetti sul servizio di telefonia mobile

Filippo Messina (*), Leonardo V. Noto (**), Francesco Lo Conti (**)

(*) Vodafone Italia, Radio Access Network Department, Palermo, filmes@libero.it

(**) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università di Palermo, valerio@idra.unipa.it

L'osservazione delle prestazioni della rete radiomobile GSM Vodafone evidenzia un peggioramento delle connessioni radio specialmente nei mesi estivi e nelle zone costiere. Studi sulla propagazione elettromagnetica, dimostrano l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione del segnale e ciò può determinare un degrado della comunicazione percepibile dall'utente. L'utilizzo di tecniche di analisi spaziale in ambito GIS ha permesso di valutare l'esistenza di un legame delle variazioni prestazionali con le condizioni meteorologiche. L'analisi di autocorrelazione spaziale, ha evidenziato una diseguale distribuzione spaziale del problema, mentre l'analisi dei dati meteorologici, associati alle stazioni GSM dell'area di studio mediante interpolazione spaziale, ha evidenziato gli effetti delle singole variabili meteorologiche sulla qualità del segnale. L'analisi statistica ha poi confermato una diversa distribuzione spaziale della dipendenza. L'insieme di tali risultati conferma l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica e quindi gli effetti riscontrabili sulla rete GSM.

The performance analysis of the Vodafone GSM mobile network shows a significant deterioration of radio link connection especially during summer season and close the sea. Studies about electromagnetic propagation show the influence of the climatic conditions on the signal propagation, that could cause a deterioration of the communication perceptible from the user. The spatial analysis on GIS environment allows to evaluate the correlation between the performance variation and the climatic conditions. The autocorrelation spatial analysis points out a different spatial distribution of the observed problem. The analysis of the climatic data shows the effect of each climatic variable on the signal quality while the statistical analysis confirms a different spatial distribution of the dependency. All these results provide a clear explanation about the influence of weather conditions on the electromagnetic propagation and then the effects on the GSM network.

Introduzione

Il GSM è un sistema radiomobile che consente l'accesso multiplo alla rete da parte dei terminali mobili o MS (*Mobile Station*), attraverso un collegamento radio bidirezionale con la BTS (*Base Transceiver Station*). La disponibilità di frequenze è limitata, ed è necessario riutilizzare più volte le stesse frequenze in luoghi diversi, adottando una strategia di copertura radioelettrica di tipo cellulare dell'area che si intende servire. Come schematizzato in Figura 1, il territorio da coprire viene quindi suddiviso in porzioni elementari su cui posizionare l'antenna trasmittente che realizza la copertura stessa.

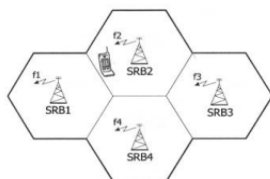


Figura 1 – Schema dell'area di competenza di una BTS.

Il limitato numero di risorse disponibili, unito alla necessità di servire un numero elevato di utenti, implica il dover prevedere un riutilizzo delle stesse frequenze secondo un certo tasso di riuso, che è funzione del numero di canali disponibili, del numero di BTS presenti nell'area e del numero di canali configurati in ognuna di esse e che si risolve nel riutilizzo della stessa frequenza in luoghi diversi e sufficientemente lontani tra loro. La non corretta pianificazione frequenziale o l'eventuale presenza di un segnale *indesiderato* possono determinare fenomeni di disturbo, generalmente indicati con il termine di interferenza (Bertazioli e Favalli, 1996).

Le principali procedure di gestione e controllo del canale radio, partono dal principio generale che la selezione da parte di un terminale mobile della cella servente avvenga sulla base di quella che è misurata, dallo stesso, come cella più forte, in termini di potenza del segnale ricevuto, con la possibilità di gestione della mobilità del terminale attraverso procedura di *handover* che consente il passaggio da una cella servente ad un'altra mantenendo attiva la conversazione in corso.

Tra i diversi parametri oggetto di misurazioni da parte del mobile o della BTS, quello che più intrinsecamente fornisce una misura sulla bontà della connessione radio, prende il nome di RXQUAL, parametro che tiene conto del BER (*Bit Error Rate*) medio. In generale il BER è definito come il rapporto tra il numero di bit errati sul numero di bit trasmessi in una certa finestra temporale, rispetto ad una sequenza nota sia alla BTS che alla MS, che viene inserita all'interno del flusso di bit scambiato. Una volta misurato viene espresso attraverso una codifica a 3 bit, che descrive quindi 8 livelli di qualità (da 0 a 7, con livello 0 pari a qualità ottima).

Nelle comunicazioni GSM è opportuno che i valori di RXQUAL non siano superiori a 4, corrispondente ad un BER massimo di 1.6%. In queste condizioni infatti tutti gli errori occorsi possono essere corretti dalla decodifica di canale. All'interno della rete Vodafone Italia, viene convenzionalmente definito il parametro *Bad Quality*, come la percentuale di campioni rilevati all'interno del report di misure, con valori di RXQUAL superiori a 4, rispetto al numero totale di campioni misurati. Questo parametro è reso disponibile all'interno di tool di analisi e può essere riferito alla sola ora di punta di traffico telefonico (*Busy Hour*) o mediato su tutta la giornata (*Daily Total*). La scelta dei livelli di RXQUAL 5, 6 e 7 è conseguenza del fatto che, per quanto detto prima, con i corrispondenti valori di BER anche applicando la correzione d'errore operata dai codici convoluzionali, la decodifica della voce presenta disturbi percepibili dall'utente.

Il riutilizzo della stessa frequenza su trasmettitori che non operino a sufficiente distanza, o l'effetto di propagazione anomala, può portare il mobile nella condizione di poter essere raggiunto da due (o più) segnali aventi stessa frequenza, dando così origine ad un fenomeno di interferenza noto come *interferenza cocanale*. Il generico parametro che definisce la qualità di un sistema di trasmissione radio, è il rapporto segnale-rumore (S/N dove $S = \text{Signal}$ = potenza del segnale utile, $N = \text{Noise}$ = potenza del rumore) che in ambito GSM è espresso in termini del limite dovuto all'interferenza cocanale attraverso il parametro C/I (dove $C = \text{Carrier}$ = potenza del segnale utile, $I = \text{Interference}$ = potenza del segnale interferente avente stessa frequenza del segnale utile).

La capacità dei sistemi radiomobili cellulari è quindi limitata dal rapporto C/I tollerato dal sistema. Se si vuole aumentare il numero di utenti servibili (per esigenze di traffico elevato) occorre riutilizzare maggiormente le stesse frequenze. Questo comporta la diminuzione della distanza alla quale operano le BTS che utilizzano le stesse frequenze e di conseguenza un aumento dell'interferenza cocanale. E' chiaro infine che in una condizione di più basso C/I , quindi di potenziale alto livello interferenziale, la trasmissione delle informazioni subirà un degrado che troverà corrispondenza, nel parametro RXQUAL presente nei report di misura generati dal mobile o dalla BTS, con incrementi riscontrabili di *Bad Quality*.

Oltre alla qualità della comunicazione radio, vi sono diversi importanti indicatori delle performance di una rete GSM. Uno dei principali è quello relativo alle cadute di chiamata, generalmente indicate con il termine *Drop Call*. L'importanza che tale contatore riveste è intrinsecamente legata agli effetti sperimentabili dall'utenza di un'interruzione della comunicazione, spesso preceduta da momenti di degrado percepibile all'udito. Spesso tale indicatore è espresso in termini di *Drop/Erlang* (con l'*Erlang* definito come il corrispettivo di utilizzo di un canale di traffico

telefonico per un'ora) che esprime la relazione tra le cadute di chiamata registrate rispetto al traffico giornaliero. Altri indicatori di rilievo sono quelli che monitorano l'andamento degli *handover* e tra questi, in particolare l'*HO_Radio_Fail* che esprime la percentuale di fallimenti di tale procedura per cause radio.

L'ambito di propagazione delle onde elettromagnetiche del sistema GSM è quello per onda diretta, sebbene l'azione della troposfera consenta di raggiungere punti che non siano in visibilità ottica (*scattering troposferico*). La propagazione mediante segnali deflessi nella bassa atmosfera, detta propagazione troposferica, può consentire la ricezione su una distanza molto maggiore di quella che si avrebbe se la bassa atmosfera fosse omogenea. In un'atmosfera omogenea, vi è una graduale ed uniforme diminuzione dell'indice di rifrazione con l'altezza. Questo effetto è dovuto agli effetti combinati di una diminuzione di temperatura, di pressione e di contenuto di vapor acqueo, con l'altezza. Questa diminuzione graduale con l'altezza dell'indice di rifrazione causa una leggera deflessione verso il basso, in un percorso curvo, delle onde irradiate entro angoli molto bassi rispetto all'orizzonte. Ne risulta che tali onde si propagano oltre l'orizzonte.

Quando la temperatura, la pressione o il contenuto di vapore acqueo dell'atmosfera, non variano con continuità col crescere dell'altezza, la discontinuità, o stratificazione, darà luogo ad una riflessione o rifrazione dei segnali incidenti, a causa della formazione di una regione di inversione nella quale l'indice di rifrazione tende a crescere con l'altezza. Ne consegue la formazione di speciali "guide d'onda" che influenzano la propagazione radio, in cui l'intensità del segnale decresce lentamente con la distanza.

La discontinuità di temperatura o di umidità possono essere provocate da correnti di convezione verticale sopra il terreno nelle ore diurne, ma si verificano più facilmente durante il giorno sul mare. Quando le condizioni di incurvamento sono particolarmente favorevoli esse possono dar luogo alla formazione di un canale, noto come *Effetto Condotta*, cioè la formazione di particolari *guide d'onda troposferiche*, dovute al fenomeno di inversione d'indice di rifrazione (Ikegami, 1959).

La propagazione guidata può generare condizioni di trasmissione del tutto eccezionali, nelle quali un'onda elettromagnetica si può propagare con un'attenuazione molto piccola su grande distanza in modo molto simile a ciò che avviene in una guida d'onda (Figura 2). Questi canali si formano generalmente su percorsi sopra il mare.

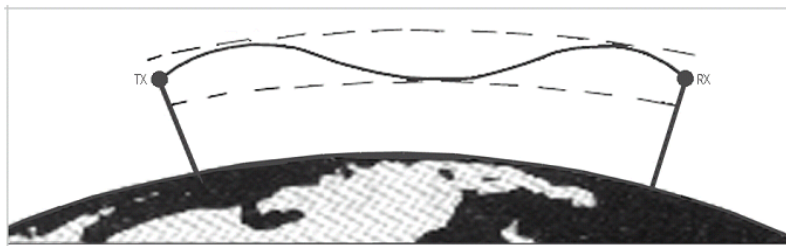


Figura 2 – Effetto Condotta.

Le caratteristiche di questo tipo di propagazione dipendono dalla frequenza, dall'indice di rifrazione, dalla temperatura, dalla pressione atmosferica, dalla percentuale di umidità nell'aria, dallo spessore del canale stesso.

Un condotto è una porzione dello spazio, sede della propagazione del raggio elettromagnetico, in cui l'energia trasportata non si distribuisce più su una superficie sferica, e quindi con un'attenuazione proporzionale al quadrato della distanza, ma su una superficie "rettangolare"; ossia il campo elettromagnetico risulta confinato in altezza da una variazione anomala dell'indice di rifrazione, ed in queste condizioni, si dimostra che l'attenuazione del segnale diventa proporzionale alla semplice distanza e non più al suo quadrato. Ciò può quindi determinare un'anomala propagazione del segnale, che riesce a giungere con la stessa potenza distanze molto più profonde

se confrontate alla propagazione standard, in assenza cioè della “guida d’onda troposferica”. Come già esposto in precedenza, nel sistema GSM, un ruolo fondamentale nel determinare l’accesso di una MS alla rete, viene giocato dal valore misurato del C/I dal mobile stesso. La propagazione anomala di determinati segnali, può quindi determinare un aumento degli interferenti, intesi come segnali isofrequenziali al segnale utile provenienti da BTS limitrofe e quindi un peggioramento del C/I e di conseguenza un potenziale degrado del canale radio.

Obiettivo di questo lavoro sarà quindi quello di studiare l’influenza delle variazioni delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica con riferimento particolare agli effetti sulla rete radiomobile GSM di Vodafone in provincia di Trapani, avvalendosi anche di tecniche di analisi spaziale, sviluppate in ambito GIS, al fine di verificare l’eventuale esistenza di correlazioni e la ricerca di schemi di distribuzione spaziale dei fenomeni analizzati.

Area di studio e dati a disposizione

L’analisi è stata condotta su una porzione del territorio siciliano, la provincia di Trapani (Figura 3), caratterizzata da una conformazione geografica con notevole estensione costiera, fattore di interesse visto che il mare, come visto in precedenza, riveste nell’ambito della propagazione elettromagnetica un elemento caratteristico per la formazione dei condotti atmosferici.

Lo sviluppo della rete radiomobile Vodafone di quest’area (Figura 4), segue le caratteristiche del territorio, con una distribuzione delle BTS, abbastanza uniforme sui centri abitati, la cui densità è funzione del numero di abitanti, e lungo le principali vie di comunicazione; l’area di studio coinvolge circa 75 BTS.



Figura 3 – Area di studio.

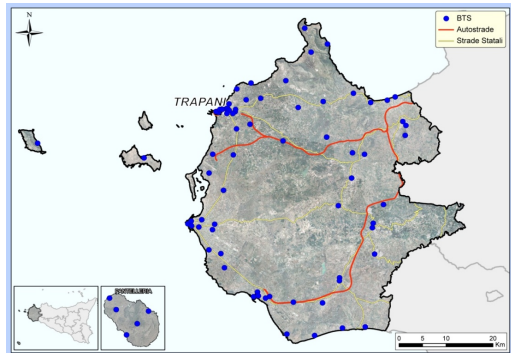


Figura 4 – BTS della rete della provincia di TP.

Le grandezze meteorologiche utilizzate provengono dalla rete di stazioni meteo del SIAS (*Sistema Informativo Agrometeorologico Siciliano*) dell’Assessorato Risorse Agricole e Alimentari della Regione Sicilia, la cui struttura si avvale di una rete di rilevazione diffusa su tutto il territorio della regione, composta da 94 stazioni elettroniche.

L’area della provincia di Trapani risulta ben coperta con la presenza di 9 stazioni di monitoraggio distribuite in modo uniforme sul territorio, mediamente con una stazione ogni 270 Km² (Figura 5). Tutte le stazioni di rilevamento del territorio della provincia di Trapani, sono dotate di sensori per il rilevamento della temperatura dell’aria, dell’umidità relativa dell’aria, delle precipitazioni, della velocità e direzione del vento a 2m, mentre solo su alcune sono presenti i sensori della pressione atmosferica e della radiazione solare globale.

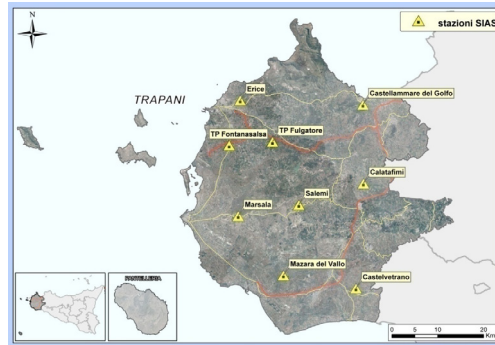


Figura 5 – Rete di rilevamento SIAS nella provincia di Trapani.

Osservando l'andamento dei contatori di rete interni a *Vodafone Italia*, nell'arco di un intero anno solare, relativamente alle BTS del territorio della provincia di Trapani, risulta evidente come nei mesi estivi l'andamento del contatore *Bad Quality* (nel seguito indicata come *BadQual*), subisca un incremento, indice quindi di un peggioramento della qualità del segnale, rispetto all'andamento dello stesso in altri periodi dell'anno.

Il grafico in Figura 6 mostra l'andamento giornaliero di *BadQual* riferito all'anno 2010, aggregato sul *cluster* di siti del territorio in analisi, ossia come media aritmetica dei valori di cattiva qualità registrata su tutti i siti.

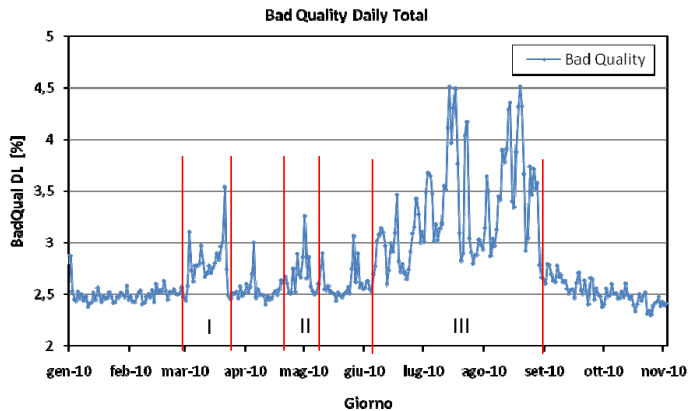


Figura 6 – Andamento *BadQual* in provincia di Trapani.

Oltre all'evidenza del generale peggioramento nel periodo estivo (III), è possibile individuare altre due finestre temporali (I) e (II), nelle quali si registra un prolungato incremento della *BadQual*, seguito subito dopo da altri periodi con un ritorno dei valori di *BadQual* a valori normali. La presenza di questi picchi anomali di cattiva qualità, unita al continuo verificarsi del fenomeno sempre nei mesi caldi dell'anno, lascia supporre la possibilità che vi sia una qualche influenza esterna non dipendente unicamente dalla rete *Vodafone* ma ad un aspetto di interesse generale relativo allo standard GSM.

Come detto prima il fenomeno si presenta con maggiore intensità in una finestra temporale, che coincide con i mesi estivi; per tale motivo le analisi successive saranno ristrette al solo periodo compreso tra il mese di giugno e quello di settembre 2010. Infine quando nel prosieguo si farà riferimento al valore di correlazione, se non diversamente indicato, sarà sempre inteso come

coefficiente di determinazione R^2 che indica la percentuale di variabilità di una variabile dipendente spiegata da una o più variabili indipendenti prese in esame.

Gli effetti del problema osservato sono riscontrabili su molti indicatori delle performance della rete GSM. In Figura 7 si riporta l'andamento del rapporto *Drop/Erlang* (D/E), raffrontato con l'andamento del *BadQual* relativamente a tutte le celle del territorio trapanese. Dal grafico si evince come vi sia una notevole correlazione tra i due fattori, che nello specifico è pari all'85%, segno che il degrado riscontrato sul canale radio, con relativo peggioramento della qualità del segnale, genera un aumento delle cadute di chiamata.

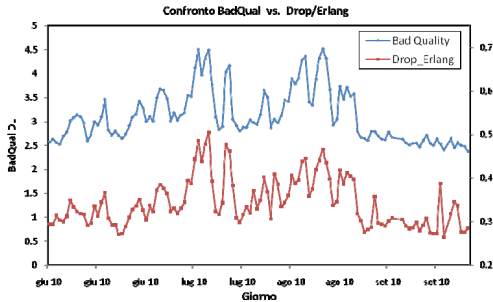


Figura 7 – Confronto *BadQual* - *Drop/Erlang*.

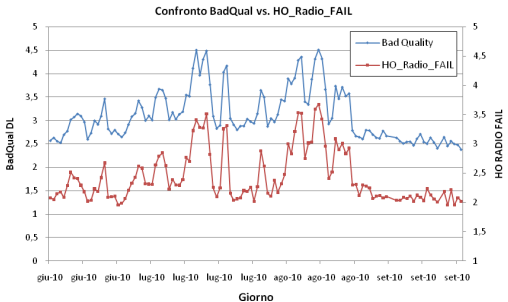


Figura 8 – Confronto *BadQual* - *HO Fail*.

Il grafico di Figura 8, che compara l'andamento dell'*HO_Radio Fail* al *BadQual*, evidenzia una notevole correlazione tra i due indicatori. Il relativo indice infatti restituisce un valore molto elevato pari ad oltre il 91%. La procedura di *handover* è per sua natura molto delicata, poiché normalmente viene avviata proprio per le condizioni radio non ottimali in cui si trova in quel momento il terminale mobile. L'ulteriore degrado del canale radio comporta quindi una più alta probabilità di fallimento della procedura, che potrebbe anche comportare un fallito rientro sulla cella di origine e di conseguenza la caduta della chiamata.

Visti gli impatti del fenomeno della propagazione anomala, sulle prestazioni della rete GSM, si può verificare l'esistenza di possibili schemi di distribuzione spaziale del fenomeno osservato, al fine di dimostrare che le variazioni anomale della *BadQual* siano riconducibili principalmente ad un degrado del canale radio, causato dai condotti atmosferici e quindi che esista una correlazione tra andamento della *BadQual* e condizioni meteorologiche. Tale ricerca è stata condotta in ambito GIS avvalendosi per le analisi più complesse del software ESRI-Arcgis.

Al fine di avere una misura della presenza del fenomeno sul singolo sito si è scelta una soglia che permettesse di discriminare un picco di cattiva qualità, pari al 30% della qualità media della singola cella. In questo modo è possibile rappresentare i siti sui quali con maggior frequenza si sono avuti peggioramenti improvvisi della qualità (Figura 9).

E' abbastanza evidente una distribuzione non uniforme del problema, che sembra presente con maggior frequenza sui siti dislocati lungo la costa sud-ovest. Ciò lascia supporre che i siti che risentono in maniera più negativa della propagazione anomala dovuta all'effetto condotto siano proprio quelli ubicati più vicino alla costa, proprio in virtù di quanto visto sull'importanza del mare nella formazione di tali condotti. Il comportamento dei siti costieri non appare comunque uniforme, visto che molti di quelli della parte nord-occidentale della provincia, non sembrano avere subito il fenomeno interferenziale in egual misura.

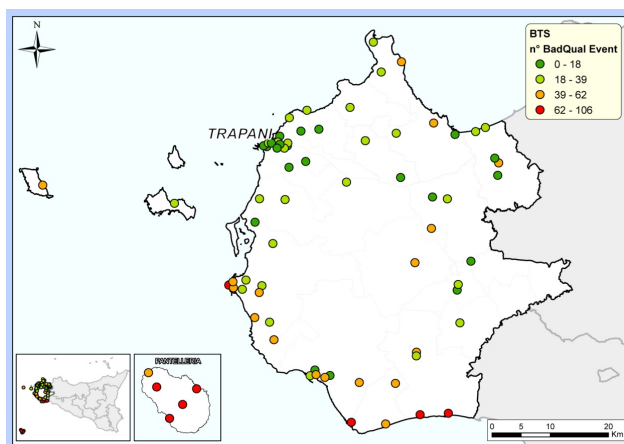


Figura 9 – N° eventi *BadQual* per sito nel periodo giu-set 2010.

La ricerca di uno schema spaziale di distribuzione del problema con le tecniche di *Pattern Detection*, permette di verificare se lo schema si differenzi da quello casuale, con aggregazioni anomale di punti (schema *clustered*) o spaziatura più o meno regolare (schema disperso), previa conferma con test statistici della significatività della distribuzione rispetto allo schema casuale.

Tra gli algoritmi di indagine, quello di *Autocorrelazione Spaziale*, oltre a tener conto della distribuzione spaziale dei punti, e quindi della loro distanza, considera anche gli attributi che li caratterizzano, eseguendo quindi un'analisi di correlazione pesata.

Applicando tale studio allo schema costituito dalle BTS della provincia di Trapani, utilizzando come attributo di similarità tra i siti, il numero di eventi di cattiva qualità, l'analisi restituisce un indice *I* di Moran pari a 0.43, con uno *Z score* pari 7.76 standard deviations, ben superiore al livello critico previsto per un intervallo di confidenza del 99% pari a 2.58. Ciò significa che la probabilità che questa distribuzione possa essere il risultato di uno schema casuale è inferiore all'1%.

Questi valori indicano ampiamente la presenza di uno schema di distribuzione raggruppato, in cui le BTS con numero medio alto di eventi di cattiva qualità tendono ad essere più vicine tra loro rispetto a quelle con numero di eventi minore. Di conseguenza è corretto ipotizzare vi possa essere la presenza di un fattore esterno che determini un degrado delle connessioni radio, in misura differente in funzione della posizione delle stesse BTS.

Verificata quindi la dipendenza spaziale, resta da dimostrare che l'andamento del fenomeno è correlato alle variazioni climatiche.

I dati meteorologici di tipo puntuale sono stati quindi spazializzati attraverso interpolazione spaziale, mediante i Poligoni di Thiessen (poligoni di Voronoi), e successivamente ciascuna BTS secondo un criterio di appartenenza ad un'area "affine" dal punto di vista climatico, ovvero quella descritta dai poligoni di Thiessen, aree per le quali si assume siano rappresentativi i dati meteorologici della relativa stazione di rilevamento SIAS, ha avuto associata, attraverso *Join Spaziale*, i dati meteorologici della stazione climatica più vicina (Figura 10).

Scelte le grandezze meteorologiche con i più alti livelli di correlazione con l'andamento di *BadQual* (Tabella 1), si è eseguita un'analisi dicotomica al fine avere una indicazione su quello che è la tendenza generata dalla variazione di ciascuna variabile climatica sull'andamento della *BadQual*.

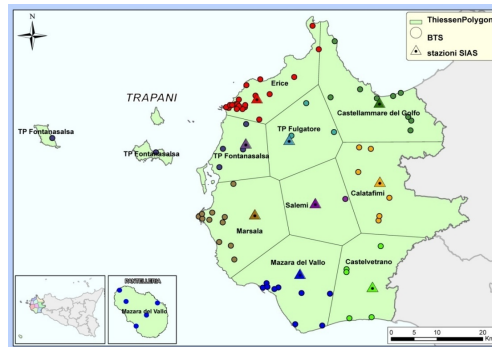


Figura 10 – Associazione BTS - stazioni SIAS.

Gli statistici ottenuti da tale analisi hanno evidenziato la temperatura media giornaliera e la radiazione solare totale giornaliera come fattori di rischio del degrado del canale radio e velocità del vento massima giornaliera e umidità relativa come fattori di prevenzione. L'analisi del rischio per temperatura e radiazione solare indica quindi che un loro incremento determina con buona probabilità un incremento della *BadQual*, al contrario un incremento della velocità del vento o dell'umidità relativa diminuisce la probabilità di incremento della *BadQual*.

Tabella 1 – Grandezze meteorologiche analizzate.

<i>R</i>	Radiazione solare totale giornaliera (MJ/mq)
<i>T</i>	Temperatura aria media giornaliera da orarie (°C)
<i>U</i>	Umidità relativa bassa (<40%) (Ore %)
<i>V</i>	Velocità vento 2m massima giornaliera (m/s)

Stabilito come singolarmente ciascuna grandezza possa essere correlata con l'andamento del degrado del canale radio e quali effetti possa comportare sulla qualità del segnale, una loro variazione, resta da determinare quale correlazione esista tra tutte le variabili in gioco, per la definizione di un modello predittivo dell'andamento della *BadQual* rispetto a tutte le variabili meteorologiche fin qui analizzate. Il modello è rappresentato da una relazione lineare, ed è ottenuto attraverso una regressione lineare multipla, la cui espressione generale assume la forma:

$$BadQual = b_1T + b_2V + b_3U + b_4R + k \quad [1]$$

Applicata l'analisi di regressione ai diversi *cluster* geografici, i valori dei coefficienti per ciascuno di essi e i valori degli indici di determinazione R^2 , sono riportati in Tabella 2, nella quale l'eventuale mancanza del coefficiente b_4 è dovuta alla mancanza del dato sulla radiazione solare di quel *cluster*.

Gli indici R^2 esprimono per ciascun *cluster*, la correlazione esistente tra i valori di *BadQual* medi del *cluster*, registrati nel periodo di osservazione, con le variabili meteorologiche.

Si conferma un comportamento non uniforme tra i gruppi delle BTS della provincia di Trapani, con valori del coefficiente di determinazione che oscilla da valori bassi, indice di una scarsa dipendenza della *BadQual* con le variabili climatiche, per alcune aree geografiche, a fronte di valori ben più alti per altre aree.

La rappresentazione di questa informazione su mappa (Figura 11) trasmette ulteriori informazioni all'osservatore, non del tutto immediate dai dati numerici, rappresentando, a colore graduato, i coefficienti di determinazione R^2 della regressione.

Tabella 2 – Coefficienti della regressione.

Cluster	b_1	b_2	b_3	b_4	k	R^2 (BadQual – T, V, R, U)
Calatafimi	0.039819	0.011528	-0.002607	-	2.624881	32.1%
Castellammare del Golfo	0.127153	-0.063911	0.004613	0.027691	1.010857	54.1%
Castelvetrano	0.141012	-0.181865	0.026707	-0.010175	2.430409	49.2%
Erice	0.054946	0.009840	0.002056	-	2.262935	56.4%
Marsala	0.119717	-0.115584	0.015182	-	1.349315	72.1%
Mazara del Vallo	0.198450	-0.201682	0.032588	0.041045	-0.144396	65.3%
Salemi	0.122412	-0.006140	0.001734	-	1.294938	24.3%
TP Fontanasalsa	0.062791	-0.114920	-0.009441	-	3.188923	24.7%
TP Fulgatore	0.034884	0.013204	-0.000788	0.011211	1.728932	30.3%

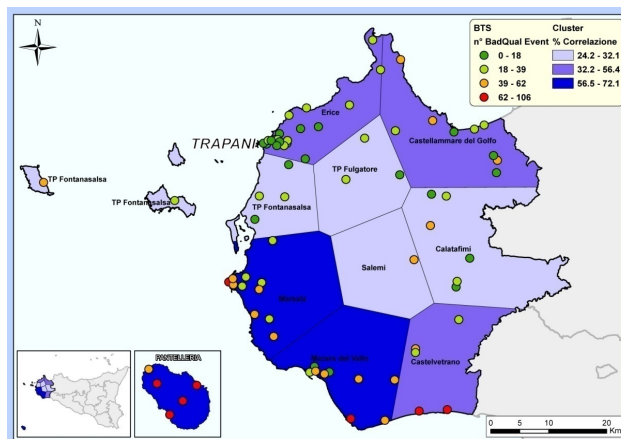


Figura 11 – Correlazione (in %) dei cluster geografici con variabili meteorologiche.

Aree più scure indicano corrispondenti BTS i cui andamenti di degrado della qualità del segnale, sono maggiormente correlati alle variazioni dei fattori ambientali.

La correlazione con le variabili meteorologiche per siti dell'area sud-occidentale (Marsala e Mazara del Vallo) raggiunge valori molto alti, segno di una forte dipendenza tra la qualità del canale radio e le variabili ambientali; il verificarsi di certe condizioni meteorologiche determina quindi degli effetti sulla propagazione del segnale che si manifesta con l'aumento dell'interferenza misurata dalle BTS dell'area. Tale l'interferenza può essere di natura interna, cioè generata dal segnale di BTS della stessa rete Vodafone, ad esempio dell'isola di Pantelleria, la cui propagazione anomala sotto certe condizioni meteorologiche, può essere solo parzialmente gestita con una corretta pianificazione frequenziale, ma anche di natura esterna, ovvero determinata da sorgenti che è ipotizzabile siano localizzate sulle coste tunisine che distano dalla parte sud-occidentale della Sicilia circa 150 km, distanza che, al verificarsi di condizioni di propagazione favorevole, può essere attraversata con bassi livelli di attenuazione e generare i problemi interferenziali registrati sulle coste, con il conseguente peggioramento della qualità del segnale misurato sulle BTS della rete Vodafone (Figura 12).

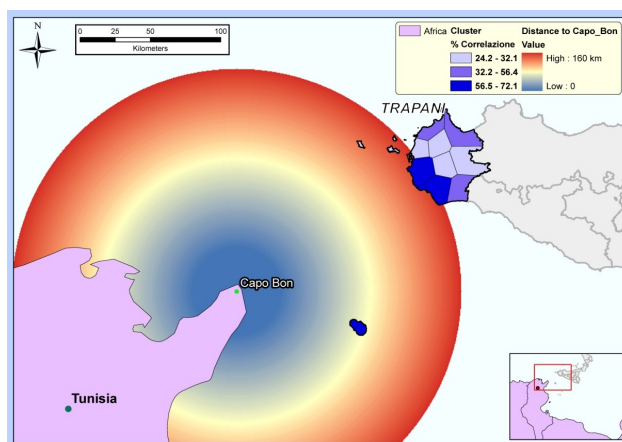


Figura 12 – Distanza Capo Bon Tunisia da Sicilia.

Le BTS del *cluster* di Erice presentano un numero basso di eventi di cattiva qualità, segno che il modello, con una correlazione superiore al 50%, intercetta la dipendenza della *BadQual* dalle variabili meteorologiche, ma gli effetti della propagazione anomala non sono tali da produrre bruschi peggioramenti della qualità, ma oscillazioni meno evidenti seppur correlabili ai dati climatici. Due sono le possibili spiegazioni:

- la maggiore densità di siti presenti nella città di Trapani, pone i terminali mobili in una condizione tale da ricevere mediamente un segnale abbastanza forte dalla propria BTS servente, al punto che eventuali segnali interferenti propagatisi per effetto condotto, risultano comunque essere più deboli del segnale utile, garantendo così un rapporto *C/I* sufficientemente buono;
- l'esposizione geografica della parte nord occidentale della provincia fa sì che i siti che ricadono in quest'area possano con minore probabilità ricevere segnali interferenti, di una certa intensità provenienti dal mare, visto che muovendosi in direzione nord-ovest le uniche sorgenti emittitrici di segnali in banda GSM possono trovarsi solo in Sardegna, ad una distanza di almeno 300 km, tale da attenuare sensibilmente l'eventuale effetto di propagazione guidata.

Per il *cluster* di Castellammare del Golfo l'indice di correlazione è paragonabile a quello di Erice, ma in questo caso le BTS registrano un maggior numero di bruschi peggioramenti di *BadQual*. L'esposizione di molte delle BTS sul golfo omonimo le rende potenzialmente soggette ad interferenza proveniente dalle altre BTS della rete Vodafone della provincia di Palermo, solo parzialmente contenibile dalla pianificazione frequenziale dell'area.

Evidente infine che i bassi livelli di correlazione sono concentrati sui *cluster* delle BTS presenti nell'entroterra della provincia, fattore che rafforza l'ipotesi che la maggiore distanza dalle coste, rende meno efficace gli effetti della propagazione anomala, determinando per le BTS dell'area un comportamento sostanzialmente indipendente dalle variabili meteorologiche.

Il modello regressivo ottenuto per ciascun *cluster* può essere confrontato con l'andamento del valore effettivo di *BadQual* registrato dal gruppo di BTS appartenenti allo stesso *cluster*, utilizzando i valori delle variabili ambientali riferiti allo stesso. In particolare per i *cluster* di Mazara del Vallo e di Marsala, che hanno registrato i livelli di correlazione più elevati si riportano gli scatterogrammi che permettono di valutare la consistenza dei casi di sottostima o sovrastima del valore di cattiva qualità (Figura 13).

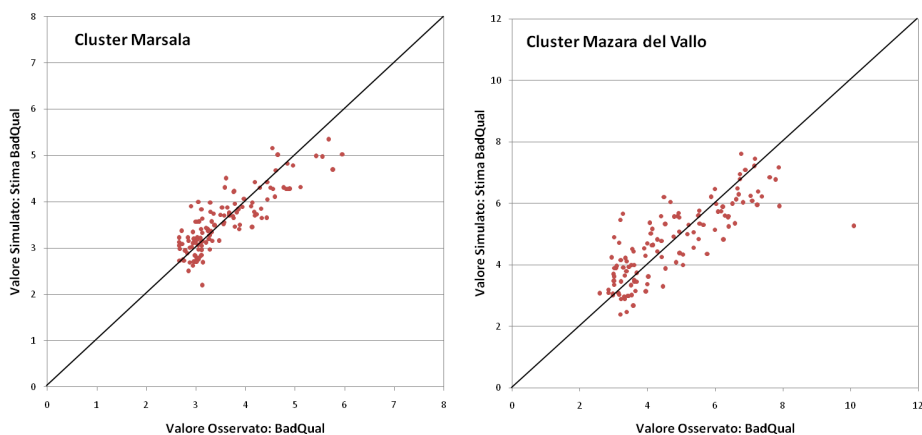


Figura 13 – Scatterogrammi valore osservato/valore simulato.

Gli scatterogrammi di entrambi i *cluster* evidenziano una buona corrispondenza tra i valori osservati di cattiva qualità ed i valori stimati dal modello statistico.

Tra i due modelli, quello relativo all'area di Marsala sembra offrire comunque una maggiore precisione, con una densità di punti molto elevata lungo la retta di riferimento e pochi casi di leggera sovrastima o sottostima da parte del modello. Quello relativo al *cluster* di Mazara del Vallo, presenta invece una minor precisione, rappresentata da una maggiore distanza dei punti dalla retta di *perfect agreement*. Tale differenza rispecchia comunque i differenti coefficienti di determinazione ottenuti dalla regressione multipla.

Conclusioni

L'osservazione del periodico peggioramento della qualità delle connessioni radio GSM, all'interno della rete Vodafone, spinge alla ricerca di eventuali fattori esterni che possano essere causa di questa anomalia. Un possibile legame è dato dalla variazione delle normali condizioni di propagazione elettromagnetica del segnale che avviene in presenza di determinate condizioni ambientali, a causa della formazione di guide d'onda troposferiche che determinano una anomala propagazione del segnale, che si riflette in un degrado della comunicazione.

L'analisi spaziale del problema, ha permesso di definire uno schema di distribuzione del degrado della qualità del segnale, di tipo raggruppato, sulla base di un criterio di similarità dato dal numero di eventi di brusco peggioramento della qualità del segnale su ciascuna BTS, dando quindi evidenza di una diseguale distribuzione spaziale del problema.

Lo studio è stato quindi teso alla verifica di eventuali correlazioni esistenti tra il livello di qualità registrato sulla rete Vodafone e le condizioni meteorologiche i cui dati sono stati forniti dalla rete di rilevamento del S.I.A.S. (temperatura, umidità relativa, velocità del vento e radiazione solare).

Tali studi hanno evidenziato gli effetti che le singole variabili meteorologiche hanno sull'andamento della qualità del segnale, definendo la temperatura e la radiazione solare come fattori di rischio del degrado del canale radio e velocità del vento e umidità relativa come fattori di prevenzione. L'analisi statistica ha poi permesso di definire l'entità complessiva della correlazione tra le variabili meteorologiche ed il dato della cattiva qualità, evidenziando una diversa distribuzione spaziale della dipendenza, che nell'ordine è risultata essere maggiore nell'area sud-occidentale della provincia, media nella fascia settentrionale, e molto bassa nell'aree più interne del territorio.

Infine l'analisi statistica ha permesso di definire un modello predittivo dell'andamento della cattiva qualità in funzione delle variabili meteorologiche. Il modello, verificato per i due *cluster* con il

maggior livello di correlazione, ha evidenziato una buona capacità di stima, con bassi livelli di sovrastima o sottostima.

L'insieme di risultati ottenuti ha quindi confermato l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica e quindi gli effetti riscontrabili sulla rete GSM.

Bibliografia

Bertazioli O., Favalli L., (1996) *GSM Il sistema europeo di comunicazione mobile: tecniche, architettura e procedure*, HOEPLI;

ETSI 05.08 GSM Technical Specification;

Ikegami F, (1959) *Influence of an atmospheric duct on microwave fading*, IRE Trans. on Antennas and Propagation;

Rec. ITU-R P.453 "The radio refractive index: its formula and refractivity data";

Rec. ITU-R P.834 "Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation".