

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA  
prot. 2005027140

<b>Coordinatore Scientifico</b>	Fabio MARCHESONI
<b>Ateneo</b>	Università degli Studi di CAMERINO
<b>Titolo della Ricerca</b>	Effetti di rumore in sistemi percettivi complessi
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 128.000
<b>Durata</b>	24 Mesi

## Obiettivo della Ricerca

*Questo progetto ha come obiettivo l'analisi quantitativa degli effetti di rumore nella percezione sensoriale. Sulla base della loro esperienza - acquisita in un decennio di ricerca sperimentale - i ricercatori delle tre Unità - Camerino, Genova e Palermo, - svilupperanno le loro indagini a tre livelli distinti, ma complementari:*

*(1) Livello del recettore (Palermo). L'obiettivo è una migliore comprensione di come un "sensore" biologico a soglia ottimizzi la sua efficienza in presenza di rumore ambientale; e' noto come il rumore ambientale influenzi sia lo stimolo in ingresso (sommandosi ad esso), sia il recettore stesso (cambiandone per esempio la soglia di attivazione). Gli esperimenti proposti saranno eseguiti su insetti, onde permettere ai ricercatori di modificare i parametri funzionali dei recettori, ed in particolare la loro soglia di attivazione. Da questo punto di vista, i recettori possono essere considerati come sensori di stimoli percettivi con prestazioni ottimali in presenza di livelli di rumore da determinarsi.*

*(2) Livello dello stimolo (Genova). In questa parte del progetto i proponenti intendono caratterizzare gli effetti di interferenza del rumore di fondo con gli stimoli sensoriali a livello corticale, per esempio, nella percezione visiva dell'uomo. In questo caso, le soglie di attivazione del sistema visivo globale non possono essere modificate sperimentalmente; tali soglie sono intrinseche ai nervi ed alle zone corticali attive corrispondenti. Tuttavia, l'intensità del rumore sovrapposto allo stimolo sensoriale dall'esterno, può essere variata a piacere. Per questo motivo i soggetti selezionati per gli esperimenti saranno sottoposti a stimoli visivi "scrambled" opportunamente in modo da identificare i meccanismi elementari di estrazione dell'informazione visiva. Infine, la risposta dei soggetti alla combinazione stimolo più rumore sarà correlata con la dinamica temporale delle attivazioni corticali per mezzo di tecniche magnetoencefalografiche attualmente accessibili ai ricercatori dell'UdR di Genova.*

*(3) Livello percettivo (Camerino). L'antagonismo percettivo, per esempio, la percezione visiva di figure ambigue, si verifica sempre a livello di corteccia cerebrale, ma implica uno sforzo tremendo di elaborazione di dati percettivi. Studi preliminari suggeriscono che la percezione visiva ambigua può essere interpretata come un processo multistabile attivato da un qualche rumore interno di origine neurofisiologica non meglio chiarita. A questo livello dell'elaborazione percettiva, gli sperimentatori non possono variare certo né l'intensità del rumore, né le relative soglie dell'attivazione percettiva; e' possibile, invece, modulare lo stimolo visivo. Si propone qui di modulare impercettibilmente lo stimolo ambiguo associato ad un cubo di Necker (cioè, per mezzo di una perturbazione sotto la soglia di percezione cosciente), in modo da causare nell'osservatore, a sua insaputa, delle transizioni indotte tra le percezioni antagonistiche del medesimo cubo. Determinando le distribuzioni dei tempi di transizione a diverse frequenze di modulazione, l'UdR di Camerino, in collaborazione con ricercatori di Perugia, vuole verificare l'esistenza di frequenze ottimali di sincronizzazione modulazione-percezione secondo il paradigma di sincronizzazione mediante risonanza stocastica (bona-fide SR).*

*Le tre UdR hanno in comune: (i) l'approccio sperimentale al problema - con esperienza e lavoro di preparazione ben documentati nella letteratura di settore; (ii) la profonda conoscenza teorica e computazionale della teoria dei processi stocastici, con particolare riferimento al fenomeno della SR, qui adottato come paradigma di riferimento. Il comune linguaggio dovrebbe garantire un elevato livello di integrazione fra le UdR della collaborazione; il massimo grado di complementarità nella formulazione dei protocolli sperimentali e nell'elaborazione/acquisizione dei dati sarà l'obiettivo di uno stretto coordinamento durante le fasi iniziali del progetto.*

## Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

*L'epoca della Risonanza Stocastica (SR) in biologia ha avuto inizio con la scoperta della SR in neuroni sensoriali soggetti a rumore "esterno". Tali neuroni sono candidati ideali per la rivelazione della SR poiché sono intrinsecamente rumorosi e funzionano come sistemi a soglia. Uno stimolo (rappresentato da un potenziale elettrico) che propagando lungo un neurone raggiunga una certa soglia, innesca un picco (di potenziale) detto di "firing", seguito poi da un intervallo di quiescenza. Malgrado evidenze sperimentali incoraggianti, alcune domande cruciali sul ruolo della SR in biologia attendono ancora una risposta. Qual è il ruolo del rumore interno nei sistemi percettivi? Inoltre, i sistemi biologici usano davvero il meccanismo dell'amplificazione della rivelazione di segnali mediante rumore?*

*Sin dagli inizi la ricerca sulla SR in biologia ha cercato prove dell'ipotesi che, durante l'evoluzione naturale, la Natura abbia sfruttato il rumore ambientale per ottimizzare i meccanismi di trasmissione dell'informazione al livello più fondamentale: quello dei canali ionici. La SR osservata negli esperimenti sui recettori avrebbe origine dalle proprietà stocastiche dei canali ionici che*

attraversano, con geometrie ben definite, le membrane cellulari di questi. Molti studi teorici e crescenti evidenze sperimentali suggeriscono che esiste una dimensione ottimale per cui il rumore ambientale (e/o interno al recettore) possa favorire la funzionalità di una "patch" di canali ionici. Per dimensioni di "patch" contenenti canali in numero/densità inferiore al valore ottimale, l'aggiunta di rumore dall'esterno - equivalente a considerare "patch" ancor più piccole - degrada ulteriormente l'efficienza della trasduzione a livello cellulare. Inoltre, sono stati predetti fenomeni di coerenza indotti proprio dal rumore interno. Per dimensioni di "patch" opportune, l'attività di "firing" assume spontaneamente un andamento ritmico, anche in assenza di segnale di input, come effetto del solo rumore interno ai canali ionici. In conclusione, la SR osservata nei sistemi biologici è probabilmente da considerarsi come una proprietà collettiva di complessi di canali ionici accoppiati tra loro. Questo ed altri aspetti relativi alla SR nei recettori sensoriali saranno studiati dall'UdR III (Palermo).

È probabile che la SR possa avere applicazioni medicali importanti. Per esempio, parecchi disordini del sistema nervoso sono causati dall'innalzarsi delle soglie sensoriali, che portano ad un ridotto "firing rate" dei corrispondenti sistemi neuronici. In questo contesto, la SR è stata osservata in reti neuroniche di mammiferi estratte dalla pelle del ratto ed anche da tessuti cerebrali in vivo. Questi risultati alimentano la speranza che la SR troverà applicazione nella cura di disordini neurofisiologici quali, per esempio, quelli dell'equilibrio, della locomozione e di altre funzioni fisiologiche degli esseri umani. Le applicazioni medicali della SR sono uno degli obiettivi qualificanti dell'UdR di Genova.

Il sistema di percezione visiva nell'uomo offre un altro esempio di SR, che sarà studiato in dettaglio dall'UdR I (Camerino). Alcuni andamenti tipici della SR sono stati estratti dallo spettro di potenza delle sequenze di transizione fra due percezioni visive antagonistiche in esperimenti neurofisiologici con gli esseri umani. Ai soggetti è stato chiesto di "risolvere" la bistabilità percettiva di una figura ambigua modulata temporalmente, cioè di scegliere tra le due percezioni possibili di un cubo di Necker perturbato ciclicamente. Una debole perturbazione periodica, consistente in un punto luminoso che si sposta in linea retta attraverso l'immagine ambigua a velocità costante e con periodo di 10s, è stata generata su un monitor collocato dinanzi dagli occhi dell'osservatore. La deformazione della figura a monitor sarebbe responsabile delle variazioni del rumore a livello percettivo. Infine, aggiungere del rumore esterno ad un segnale sensoriale (uditivo o visivo) favorisce l'identificazione di suoni o immagini in individui sani; il livello di rumore ottimale dipende dal soggetto, ma sempre in accordo con il paradigma della SR illustrato sopra. La continuazione di questi studi è l'obiettivo dell'UdR II (Genova).

Il carattere innovativo di questo progetto sta proprio nelle molteplici relazioni, sperimentalmente provate, fra rumore interno (cioè all'interno dei neuroni) e/o esterno (cioè in input) e la percezione sensoriale in animali ed esseri umani.

Ulteriori innovazioni attese da questa linea di ricerca si basano sull'idea che meccanismi e paradigmi ispirati dalla biologia possono essere adattati ed implementati nelle nanotecnologie dei prossimi decenni. Presentiamo qui due esempi che possono servire ad illustrare future applicazioni delle tematiche che vogliamo affrontare:

A) **COMPUTER GRAPHICS:** L'obiettivo primario nel campo della grafica al computer è la generazione di immagini realistiche di scene reali o virtuali usando un mezzo bidimensionale, quale uno schermo di un computer. Tale settore di ricerca comprende problematiche quali la modellistica tridimensionale, l'ottica, la percezione visiva umana e l'hardware. Un'immagine 2D contiene necessariamente meno informazioni che il modello 3D originale. Ciò può condurre a delle ambiguità nell'interpretazione delle immagini. L'illusione del cubo di Necker è uno degli esempi più popolari. Le ambiguità in un'immagine 2D possono essere risolte aggiungendo informazioni estratte dal modello del mondo 3D rappresentato. Tuttavia, quando si usano grafici 3D per la visualizzazione di informazioni, troppo realismo può essere nocivo - strutture accessorie ed effetti di luce complicati possono distrarre l'osservatore. Di qui l'esigenza di una comprensione più profonda dei meccanismi neurofisiologici che governano il cosiddetto antagonismo percettivo.

B) **RETI DI MICROSENSORI:** Nell'ultimo decennio, si è registrato un progresso spettacolare nella realizzazione, miniaturizzazione e integrazione di micro-controlli, micro-rivelatori e delle interfacce per la trasmissione dei dati. Allo stesso tempo, il costo di produzione di tali dispositivi continua a calare, al punto che ora è possibile prevedere applicazioni che coinvolgano l'utilizzo di grandi quantità di dispositivi "smart", ciascuno dotato di limitate capacità di calcolo, rivelazione e comunicazione. Negli ultimi cinque anni, sono stati avviati parecchi progetti a livello mondiale - sia da università sia da grandi aziende - per affrontare la sfida tecnologica rappresentata dalla realizzazione e gestione di una rete di microdispositivi su grande scala. Con la piattaforma hardware ormai a portata di mano, la vera sfida diventa l'utilizzo delle risorse locali dei singoli nodi e la gestione delle loro funzioni in modo che la rete possa funzionare come un tutto.

Nel funzionamento delle future reti di microdispositivi, un ruolo critico sarà giocato dal "network middleware", uno strato di software intermedio responsabile della preelaborazione delle informazioni provenienti dal hardware e dal software locali dei nodi e del loro trasferimento verso lo strato delle applicazioni di livello superiore. Questo strato del software ha inoltre l'importante ruolo di separare lo sviluppo dell'hardware e del sistema operativo dei nodi, al livello inferiore, dallo sviluppo delle applicazioni al livello superiore, così permettendo, almeno in parte, lo sviluppo indipendente di entrambi i livelli. Il "network middleware" è il passo logico che dà al programmatore delle applicazioni una visione unitaria della rete, dell'ambiente nel quale questa opera e delle sue capacità.

Questi tre livelli (basso, intermedio ed alto) operativi dei sistemi distribuiti artificiali riflettono da vicino i tre livelli nei quali vogliamo caratterizzare gli effetti di rumore nella percezione degli stimoli sensoriali. I risultati di questo progetto avranno impatto anche in quest'area di indagine.

## **Criteri di verificabilità**

### *UdR I - Camerino*

*primo ANNO: Selezione ed addestramento di un giovane ricercatore dedicato (studente di dottorato o post-doc); acquisizione e test del software adottato per l'esperimento; definizione dei protocolli sperimentali; messa a punto di uno spazio laboratorio adatto, cioè una stanza attrezzata dove effettuare gli esperimenti. Contatti con il gruppo di Dynamic Visual Perception del Brain Science Institute(RIKEN) per consulenza e scambio di esperienze.*

*secondo ANNO: Selezione dei soggetti ed esperimenti in diverse condizioni; prima analisi dei dati e possibilmente nuovi esperimenti ispirati dai risultati preliminari. Interpretazione basata sulla modellistica fisica. L'analisi dei dati sarà effettuata in collaborazione con il gruppo guidato dal Dott. Borromeo del Dip.to di Fisica dell'Università di Perugia.*

### *UdR II - Genova*

*primo ANNO: Acquisizione della scheda grafica e del monitor per l'esperimento di psicofisica. Predisposizione degli stimoli visivi e formulazione dei relativi paradigmi sperimentali. Acquisizioni preliminari.*

*secondo ANNO: Presa dati sperimentali. Messa a punto ed esecuzione dell'esperimento con soglia naturale. Interpretazione dei risultati sperimentali ed integrazione dei risultati delle diverse Unità di Ricerca.*

### *UdR III - Palermo*

*primo ANNO: Analisi della struttura e della funzione dei suoni emessi da individui di NV per determinarne il segnale di soglia. Simulazione numerica del modello di FHN in presenza di rumore colorato sotto diverse condizioni operative.*

*secondo ANNO: Caratterizzazione del fenomeno della SR nella comunicazione tra individui di NV. Misure sperimentali degli effetti indotti da rumore colorato nei meccanismi di riconoscimento della specie. Interpretazione dei dati sperimentali mediante simulazioni numeriche del modello FHN.*

## **Elenco delle Unità di Ricerca**

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di CAMERINO
<b>Responsabile Scientifico</b>	Fabio MARCHESONI
<b>Finanziamento assegnato</b>	<b>Euro</b> 60.100

## **Compito dell'Unità**

*Titolo: Effetti di rumore endogeno nella percezione visiva di figure ambigue*

*L'UdR I si propone di studiare quantitativamente le distribuzioni statistiche dei tempi di alternanza in casi semplici di antagonismo percettivo soggetto a modulazione temporale. Il cubo di Necker viene scelto come un caso ottimale di studio, sebbene gli esperimenti proposti possano essere estesi ad altre situazioni ambigue. Si è ipotizzato che l'alternanza percettiva sia causata da un processo di Poisson, possibilmente attivato da una qualche sorta di rumore interno, endogeno "al cervello come sistema". Questo punto di vista non è ancora largamente diffuso, sebbene sembri fornire almeno un utile paradigma di interpretazione. L'UdR di Camerino vuole determinare sperimentalmente se sia possibile caratterizzare le transizioni, o salti, tra stati percettivi come processi attivati da rumore.*

*Le somiglianze con il paradigma della risonanza stocastica (SR) sono evidenti. La visione dell'immagine ambigua alterna dinamicamente due percezioni (o stati) equivalenti con tempo medio di alternanza dipendente dall'osservatore. Assumendo il punto di vista che il cervello possa essere considerato come sistema multistabile (bistabile nel caso degli esperimenti con il cubo di Necker) soggetto a rumore endogeno di qualche natura, allora gli istogrammi dei tempi di alternanza dovrebbero sviluppare una struttura a picchi tipici della SR. Di conseguenza, variare il periodo della perturbazione dello stimolo dovrebbe permettere di aumentare la sincronizzazione input/output secondo il paradigma della SR. Il risultato finale dovrebbe essere una prova forte (e sperabilmente quantitativa) della natura stocastica dell'antagonismo percettivo.*

*A differenza degli esperimenti proposti dalle altre due UdR, qui non si può variare il livello del rumore; il rumore è endogeno (cioè, interno, nel gergo dei fisici) e la sua natura completamente sconosciuta. Di conseguenza, si può valutare la presenza ed eventualmente determinare le proprietà statistiche di un tal "rumore", soltanto agendo sulla frequenza di modulazione dello stimolo percepito.*

*Gli esperimenti con i cubi di Necker perturbati temporalmente a frequenza variabile verranno effettuati con l'obiettivo di un'analisi quantitativa basata sul paradigma della SR. L'esperienza sperimentale acquisita dall'UdR II (Genova) negli anni Novanta sarà inizialmente di aiuto.*

Data per acquisita la conoscenza dei più comuni protocolli per gli esperimenti di neurofisiologia (e analisi statistica dei dati relativi), il "know-how" necessario per questo progetto (e forse mancante nel bagaglio culturale di un fisico) riguarda principalmente: (i) le tecniche di "visual graphics" e (ii) il software per esperimenti di percezione visiva. I ricercatori di questa UdR hanno già svolto del lavoro di preparazione, testato pacchetti software commerciali, individuato spazi laboratorio, ecc., per essere pronti a programmare le loro attività sperimentali.

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di GENOVA
<b>Responsabile Scientifico</b>	Massimo RIANI
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 33.300

## **Compito dell'Unità**

*Titolo: Effetti di rumore esterno (input) nell'elaborazione degli stimoli sensoriali*

L'UdR di Genova indagherà gli effetti che l'aggiunta di un rumore esterno sovrapposto allo stimolo, provoca nell'elaborazione dell'informazione da parte di organismi biologici complessi ed in particolare nell'elaborazione dell'informazione visiva nel sistema nervoso centrale dell'uomo. In tali sistemi, per usare il linguaggio della SR, le soglie di attivazione sono fisse: esperimenti di psico-fisica si possono condurre in prossimità di tali soglie variando le intensità dei segnali di input e/o del rumore di fondo. Dal punto di vista neurofisiologico, questa UdR si occuperà principalmente di studiare, mediante analisi di imaging funzionale, MEG e fMRI, la localizzazione, l'intensità e la dinamica temporale delle attivazioni cerebrali generate da diversi livelli di rumore sovrapposti ad una breve parola.

L'idea consiste nel presentare ai soggetti, utilizzando uno schermo collegato ad un PC, immagini di brevi parole disegnate su uno sfondo grigio uniforme con un contrasto costante. L'immagine (segnale più sfondo) viene posta sotto-soglia in modo che in assenza di rumore la parola sia invisibile al soggetto e sullo schermo appaia un quadrato grigio uniforme. Sommando quantità crescenti di rumore, i pixel che costituiscono l'immagine possono statisticamente superare la soglia e l'immagine "rumorosa" della parola appare a schermo su uno sfondo anche esso affetto dalla stessa quantità di rumore. Per ogni livello di rumore viene presentata una successione di N parole scelte a caso in un set di M. Le successioni di immagini significative (caratterizzate da segnale e rumore aggiunto) saranno alternate a stimoli neutri, rappresentati da uno sfondo uniforme caratterizzato dallo stesso livello di rumore della precedente immagine con la breve parola. Questo esperimento dovrebbe permettere di ottenere una successione di "immagini" di attivazioni funzionali di diversa intensità nelle regioni corticali deputate all'elaborazione del linguaggio.

Inoltre dovrebbe essere effettuata un'analisi accurata delle attivazioni nella corteccia visiva (aree 17, 18 e 19) al fine di investigare i possibili correlati neurofisiologici tra le piccole differenze negli stimoli esterni e le notevoli risposte percettive come evidenziato da risultati parziali ottenuti in precedenza dallo stesso gruppo. Per quanto riguarda la dinamica temporale delle attivazioni, l'idea è di utilizzare tecniche di magnetoencefalografia (MEG in collaborazione con l'Università Tecnica di Helsinki) per studiare tale dinamica utilizzando due diversi tipi di stimoli visivi transienti: immagini di sbarre verticali sinusoidali di frequenza spaziale variabile; immagini di parole e pseudo-parole (stringhe di lettere dell'alfabeto prive di significato) presentate in successione casuale. Ai soggetti verrà richiesto di riferire l'avvenuta percezione delle parole o delle sbarre per differenti condizioni di rumore aggiunto. Lo scopo di questa parte del programma di ricerca è quello di misurare le risposte neuromagnetiche ai suddetti stimoli al fine di ottenere informazioni sull'organizzazione in frequenza del segnale, sulla distribuzione topografica e sulla disposizione delle possibili attivazioni corticali. Per l'interpretazione statistica e di modellizzazione in termini di SR, questa UdR collaborerà con l'UdR I (Camerino)

Negli esperimenti funzionali descritti in precedenza, la soglia energetica usata è introdotta dall'esterno. Di grande valenza concettuale sarebbe riprodurre la curva di SR per il contrasto nel caso in cui la soglia sia naturalmente dovuta al limitato potere risolutivo del sistema visivo umano. Pertanto l'UdR di Genova intende approntare anche un nuovo esperimento di psicofisica che sfrutti la soglia naturale di percezione di diverse frequenze spaziali in funzione del contrasto delle stesse per studiare ulteriormente l'interazione tra segnale e rumore.

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di PALERMO
<b>Responsabile Scientifico</b>	Bernardo SPAGNOLO
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 34.600

## **Compito dell'Unità**

*Titolo: Effetti di rumore nei recettori di percezione.*

L'UdR III ha progettato vari esperimenti per rivelare l'influenza del rumore nel riconoscimento della specie *Nezara Viridula* (NV). La comunicazione con suoni emessi da soggetti maschi e femmine, prodotte tramite le vibrazioni del corpo, è una parte essenziale del richiamo sessuale durante l'accoppiamento. Il meccanismo che permette agli individui dei due

sessi di stabilire il contatto sulla stessa pianta è ancora sconosciuto. Osservazioni sulla NV hanno mostrato che i maschi più attivi si avvicinano ad una femmina ferma su una pianta in senso direzionale con comportamento caratteristico di ricerca alle giunzioni dei rami. Negli esperimenti verranno usati maschi sessualmente maturi e femmine di NV allevati in laboratorio. L'attività sperimentale sarà articolata in 5 fasi:

a) Osservazione di coppie di NV su substrato. Lo scopo è quello di verificare la direzionalità nei meccanismi in base ai quali la NV localizza la fonte delle vibrazioni su un substrato che ha la forma di una Y (gambo più due foglie). Le risposte vibratorie dell'insetto saranno monitorate tramite un microfono con membrana a contatto con il substrato nella parte inferiore del gambo. Gli esperimenti saranno condotti sia in assenza, sia in presenza dello stimolo. Stimoli vibratorii esterni saranno applicati all'apice di una foglia del substrato della prova. Gli esperimenti saranno effettuati in una camera anecoica, priva di eco e insonorizzata, alla temperatura ambiente di 22-26°C ed in presenza di luce artificiale.

b) Compilazione del repertorio sonoro di NV. I suoni saranno registrati dal microfono, digitalizzati e memorizzati in un PC e quindi analizzati mediante programmi convenzionali per l'analisi del suono. I suoni della NV riflettono le frequenze caratteristiche delle vibrazioni del corpo dell'insetto; la frequenza dominante dipende direttamente dal rate di contrazione dei muscoli addominali. Gli spettri dei segnali emessi saranno calcolati e paragonati con quelli già pubblicati in letteratura dagli stessi ricercatori.

c) Manipolazione digitale. I suoni emessi digitalizzati verranno riprodotti artificialmente ma con rapporto segnale-rumore più basso (SNR), al fine di misurare la soglia di percezione dell'insetto. A questo punto verrà aggiunto al segnale sottosoglia un segnale di rumore con intensità variabile, al fine di stabilire le condizioni di segnale e rumore ottimali per la comunicazione fra coppie di NV.

d) generazione di rumore di fondo "realistico". Nella maggior parte degli esperimenti di settore, il rumore additivo è considerato "bianco", cioè con correlazione temporale nulla o molto piccola. Tuttavia, rumore colorato è stato osservato in molti sistemi biologici. Sebbene gli effetti di rumore colorato sulla SR siano già stati discussi in letteratura da ricercatori dell'UdR I, la discussione dell'interazioni fra colore del rumore e frequenza del segnale in input nel contesto di studi biologici è ancora sommaria. Gli esperimenti in c) verranno ripetuti in presenza di un rumore colorato additivo sovrapposto a segnali sottosoglia.

e) Interpretazione dei dati sperimentali. Nonostante le drastiche semplificazioni, il modello di FitzHugh-Nagumo (FHN) riproduce qualitativamente molte proprietà osservate delle cellule neuronali. Come minimizzare l'effetto delle fluttuazioni in un modello FHN in regime sopra-soglia al fine di diminuire il ritardo della trasmissione delle informazioni esterne nei sistemi di neuroni, è ancora una questione irrisolta. Si procederà pertanto alla simulazione numerica del modello di FHN con forzante periodica sopra-soglia. Obiettivo immediato, la determinazione dello spettro di frequenza ottimale in cui il tempo di risposta ed il suo scarto quadratico medio siano minimi. Il confronto con i dati ottenuti dagli esperimenti in vivo costituirà perciò il momento di sintesi del progetto di questa UdR.