

# Reti di sensori e standard IEEE 1451

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

1

## Smart trasducer

### Che cos'è uno smart trasducer?

E' un trasduttore intelligente che integra le funzionalità di un trasduttore classico con:

- un'unità di elaborazione ed
- un'interfaccia di comunicazione.

Esso comprende:

- una **parte hardware**: elemento sensibile (sensore/attuatore), blocchi di conversione e condizionamento del segnale, microcontrollore;
- una **parte software**: elaborazione numerica del segnale, funzioni di calibrazione, diagnostica e comunicazione.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

2

## Rete di sensori

### Che cos'è una rete di sensori?

E' un insieme di traduttori intelligenti e di nodi calcolo connessi tra loro in modo da formare una rete.

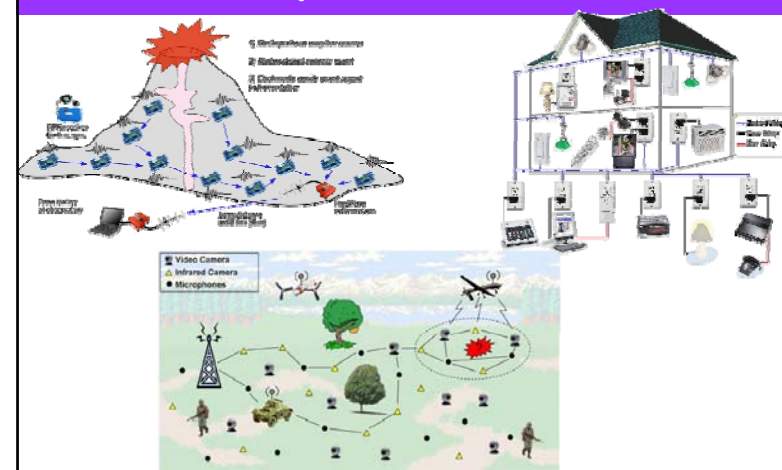
Una rete di sensori consente di collezionare, processare e disseminare informazioni nell'ambiente fisico circostante.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

3

## Esempi di reti di sensori

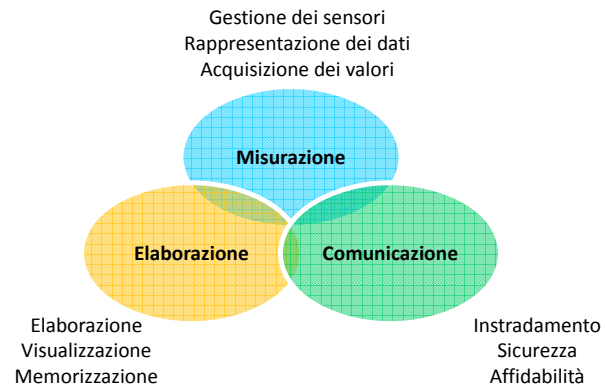


08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

4

## Aspetti di una rete di sensori



08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

5

## Capacità di elaborazione

- Si estende ad aspetti riguardanti **forme di intelligenza distribuita**, dove i nodi collaborano tra loro per raggiungere un fine comune.
- Questa forma di intelligenza deve essere **scalabile**, ossia non deve dipendere dalle dimensioni del sistema e deve potersi sviluppare in modo dinamico.
  - *Ad esempio i nodi di una rete devono potersi riconoscere autonomamente.*

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

6

## Capacità di comunicazione

- I nodi di una rete devono essere in grado di scambiarsi informazioni.
- Devono essere affrontate numerose e differenti problematiche, relative a **vincoli fisici**, come limitazione di banda, ritardi, collegamenti non affidabili.
- Assieme a queste si aggiungono vincoli relativi al **consumo energetico**,
- alla necessità di condividere un **comune riferimento temporale**,
- e così via.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

7

## Problematiche di misura

- Interpretazione del dato di misura: stima dell'incertezza, rappresentazione.
- Correzione in termini di taratura del trasduttore.
- Modalità di acquisizione dei dati di misura.
- Tecniche di gestione dei dati di misura.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

8

## Necessità di uno standard

- Possibilità di definire una rete di trasduttori non vincolata a case produttrici o standard proprietari.
- Adozione di un modello comune per gestire i dati provenienti da un trasduttore, facilitando le operazioni di controllo, configurazione e calibrazione dello stesso.
- Possibilità di installare, aggiornare, sostituire o rimuovere i trasduttori nella rete in modalità plug & play, riducendo significativamente costi di gestione e possibili errori di configurazione.
- Possibilità di definire per ciascun trasduttore un data sheet elettronico, con un formato standard, contenente tutte le informazioni necessarie per gestire il trasduttore stesso.
- Possibilità di accedere ai trasduttori sia in modalità wired che wireless, attraverso una vasta scelta di mezzi fisici.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

9

## Famiglia di standard IEEE 1451

- La **famiglia di standard IEEE1451** è un insieme di documenti elaborati nel corso degli ultimi dieci anni **dall'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**.
- Definisce le caratteristiche e le modalità di accesso in rete di trasduttori differenti, per mezzo di un insieme di procedure e comandi standardizzati.
- Questa famiglia di standard definisce un'architettura di base della rete, che consente di modificarne la configurazione in modalità plug & play.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

10

## IEEE 1451 smart transducer

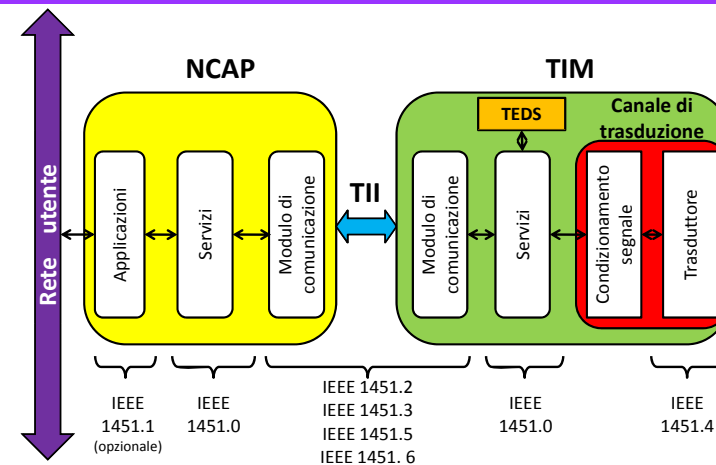
- Aggiunta di un data sheet elettronico, **Transducer Electronic Data Sheet (TEDS)**, contenente tutte le informazioni relative al traduttore stesso: costruttore, range di misura, accuratezza, dati di calibrazione, ecc.
- Suddivisione dello smart transducer in:
  - **Network Capable Application Processor (NCAP)**, con funzionalità proprie di un nodo di comunicazione;
  - **Transducer Interface Module (TIM)**, composto da un certo numero di trasduttori (sensori e attuatori), blocchi di conversione ed elaborazione dati.
- Il TIM implementa un **canale di trasduzione** per ciascun sensore e/o attuatore.
- Ad ogni TIM e canale di trasduzione viene associato un TEDS.
- L'interfaccia fisica tra NCAP e TIM, detta **Transducer Independent Interface (TII)**, può essere sia wired che wireless.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

11

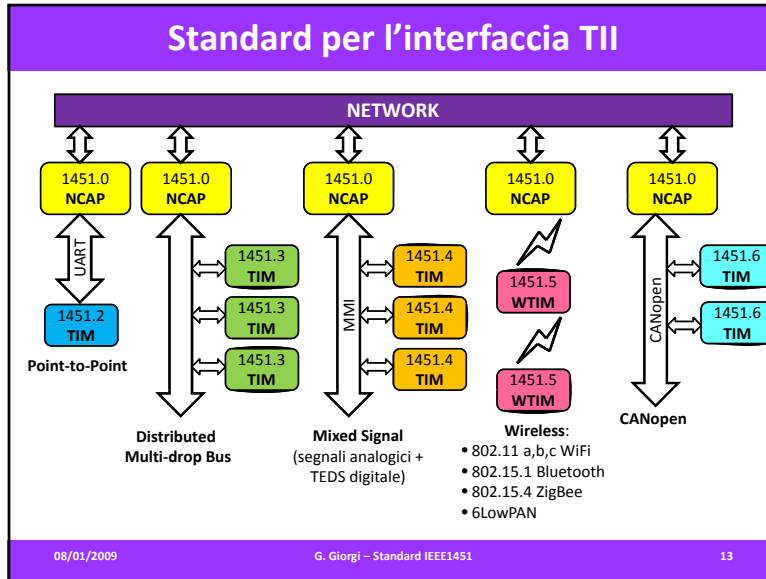
## Struttura di un nodo trasduttore



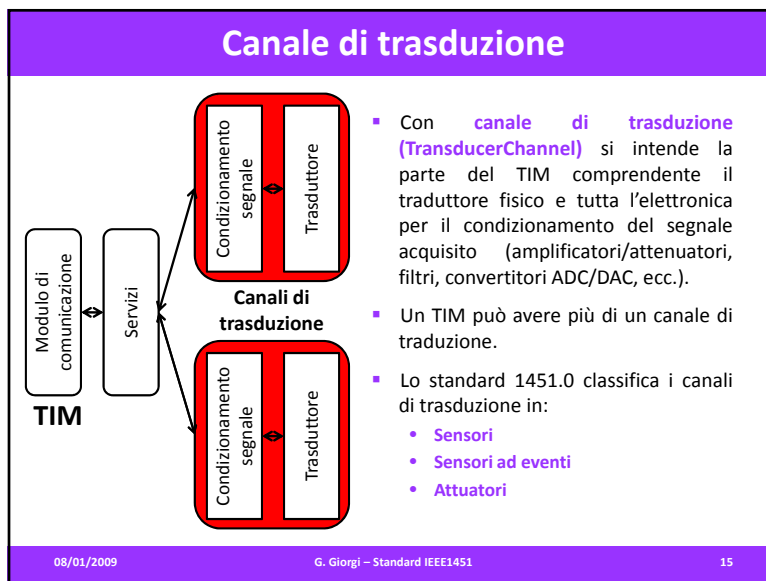
08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

12



- ## 1451.0 e funzionalità comuni
- Definizione di **canale di trasduzione** e sua classificazione in sensore, sensore ad eventi ed attuatore.
  - Definizione della **struttura dati, data set**, utilizzata per memorizzare e trasmettere i dati acquisiti da un nodo sensore oppure i dati da fornire in ingresso ad un nodo attuatore.
  - Definizione delle **modalità di campionamento** con le quali acquisire i dati da un sensore o fornire i dati ad un attuatore.
  - Definizione delle **modalità di trasmissione** dei data sets.
  - Definizione dei **meccanismi di trigger** e di quali necessari per sincronizzare i nodi della rete.
  - Definizione della struttura e dei contenuti dei **TEDS**.
- 08/01/2009 G. Giorgi – Standard IEEE1451 14



- ## Tipi di canale di trasduzione
- **ATTUATORE**: produce un valore oppure un'azione in uscita in risposta al dato fornito al suo ingresso.
    - **Esempio termostato**: regola in modo opportuno un sistema di condizionamento a seconda del valore numerico presente al suo ingresso.
  - **SENSORE**: misura un parametro fisico della grandezza applicata in ingresso e ritorna un valore numerico rappresentante il parametro misurato.
    - **Esempio termometro**: misura la temperatura e la converte in un dato numerico.
  - **SENSORE AD EVENTI**: rileva un cambiamento di stato nella grandezza applicata al suo ingresso.
    - **Esempio comparatore**: confronta la grandezza incognita con un valore di riferimento e fornisce in uscita valore logico "0" oppure "1" a seconda dell'esito del confronto.
- 08/01/2009 G. Giorgi – Standard IEEE1451 16

## Sensore ad eventi analogico

**Grandezza di ingresso**

**Uscita sensore**

0      1      0

t1      t2

- **Comparatore ad isteresi:** la grandezza analogica applicata in ingresso viene comparata con delle soglie di riferimento.
- L'ampiezza dell'isteresi può essere nulla: le due soglie coincidono.
- L'evento può essere catturato sul fronte di salita, sul fronte di discesa oppure su entrambi.
- Tutti i parametri vengono specificati nel TEDS.

08/01/2009
G. Giorgi – Standard IEEEE1451
17

## Sensore ad eventi digitale

input 1

input 2

input 3

output

$\Delta t$

- E' caratterizzato dall'averne uno o più **ingressi digitali**.
- Un evento corrisponde al **verificarsi di una certa combinazione di valori** sugli ingressi digitali che permane per un certo lasso di tempo.
- L'evento può essere catturato sul fronte di salita, oppure sul fronte di discesa o su entrambi:
  - Il fronte di salita corrisponde al verificarsi di una certa combinazione
  - Il fronte di discesa corrisponde al cessare della precedente condizione.

08/01/2009
G. Giorgi – Standard IEEEE1451
18

## Sensore ad eventi: informazioni temporali

- Un sensore ad eventi rileva un **cambiamento di stato** nella grandezza applicata al suo ingresso.
  - *L'uscita può assumere solo due valori logici: 0 oppure 1.*
  - *Può essere usato come sorgente di trigger per un altro trasduttore.*
- Nessuna informazione viene invece fornita sul **quando** è avvenuto un cambiamento di stato.
- Se è importante disporre anche di tale informazione temporale si possono adottare degli opportuni meccanismi:
  - **Polling:** il sensore viene interrogato periodicamente per sapere se si è verificato un cambiamento di stato.  
*Modalità di trasmissione on command.*
  - **Timestamping:** viene misurato il tempo di arrivo del messaggio da parte del trasduttore contenente il valore della sua uscita.  
*Modalità di trasmissione streaming.*

08/01/2009
G. Giorgi – Standard IEEEE1451
19

## Insieme di canali di trasduzione

- **Gruppo di controllo:** composto da un canale di trasduzione principale ed un certo numero di canali di trasduzione complementari che forniscono informazioni aggiuntive sul funzionamento del canale principale.
- **Gruppo vettoriale:** non vi è alcuna relazione gerarchica tra i canali di trasduzione.
  - *Esempio: accelerometro triassiale per il quale è possibile definire un gruppo vettoriale comprendente i sensori degli assi X,Y e Z.*

08/01/2009
G. Giorgi – Standard IEEEE1451
20

## Struttura dati per un canale di trasduzione

- **Data set:** contiene i campioni del segnale proveniente dal sensore oppure quelli da fornire all'attuatore.
- **Definito da tre parametri**, specificati nel TEDS, che specificano il numero massimo di campioni che è possibile contenere e in che modo tali campioni sono ottenuti:
  - **Maximum data repetitions:** specifica il numero massimo di campioni che un data set può contenere,
  - **Series unit:** specifica l'unità di misura dell'intervallo di campionamento.
  - **Series increment:** determina l'ampiezza dell'intervallo di campionamento.

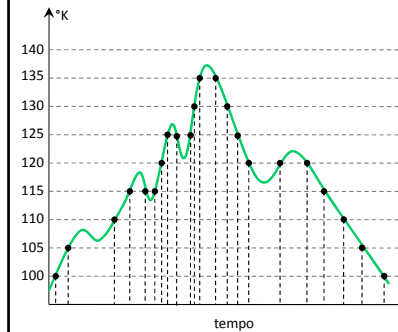
*L'intervallo di campionamento può essere di qualsiasi natura e non necessariamente un intervallo temporale.*

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

21

## Esempio



### Sensore di temperatura

- Intervallo di campionamento:
  - Unità di misura °K
  - Ampiezza 5°K
- I campioni del segnale vengono prelevati in modo uniforme rispetto alla temperatura piuttosto che al tempo.

100, 105, 110, 115, 115, 115, 120, 125, 125, 125, 130,.....

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

22

## Modalità di campionamento

- Specifica in che modo i dati vengono acquisiti da un sensore o forniti ad un attuatore.
- Vengono definite 5 differenti modalità di campionamento dallo standard 1451.0:
  - Due sono le **modalità base**, mutuamente esclusive tra loro: trigger-initiated e la free-running.
  - Altre tre rappresentano delle **varianti** di queste modalità base: free-running con pre-trigger, continua ed immediata.
- Tali modalità si differenziano soprattutto per il modo di operare di un trasduttore prima dell'arrivo di un comando di trigger.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

23

## Trigger-initiated

- Il canale di trasduzione è inizialmente inattivo.
- La ricezione di un comando di trigger avvia:
  - il processo di acquisizione dati nel caso di un nodo sensore,
  - il processo di elaborazione dati nel caso di un nodo attuatore.
- Il processo termina quando tutti i campioni nel data set sono stati processati.
- Nel caso di un nodo sensore tutte le misure sono post-trigger, in quanto ottenute dopo aver ricevuto il comando di trigger che abilita sia l'acquisizione che il salvataggio.



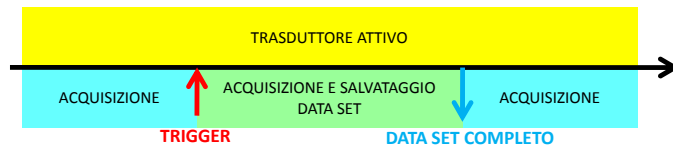
08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

24

## Free-running - 1

- Il canale di trasduzione è sempre attivo.
- Nel caso di un **nodo sensore**:
  - la grandezza fisica applicata in ingresso viene continuamente campionata e convertita in un valore numerico,
  - i valore ottenuti però vengono salvati in memoria solo dopo aver ricevuto il comando di trigger che abilita il salvataggio.
  - Il processo termina quando tutti i campioni nel data set sono stati processati.
  - Tutte le misure ottenute sono post-trigger in quanto ottenute dopo aver ricevuto il comando di trigger.



08/01/2009

G. Giorgi - Standard IEEE1451

25

## Free-running - 2

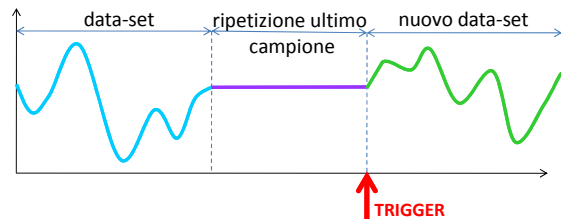
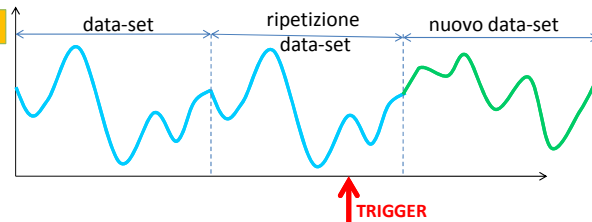
- Nel caso di un **nodo attuatore**:
  - Viene prodotta un'azione in accordo con i campioni contenuti nel data set corrente, ossia ricevuto prima del comando di trigger.
  - Quando viene ricevuto un comando di trigger l'attuatore considera un nuovo data set.
  - Una volta elaborati tutti i campioni contenuti nel data set fornito in ingresso, il nodo attuatore può operare in:
    - modalità hold: viene considerato soltanto l'ultimo campione del data set,
    - modalità recirculate: viene considerato nuovamente lo stesso data set. Quando viene ricevuto il comando di trigger, prima di considerare un nuovo data set, viene terminato prima quello in fase di elaborazione.

08/01/2009

G. Giorgi - Standard IEEE1451

26

## Modalità hold e recirculate

**HOLD**

**RECIRCULATE**


08/01/2009

G. Giorgi - Standard IEEE1451

27

## Free-running con pre-trigger - 1

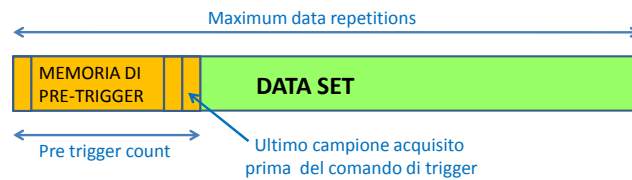
- Estende, solamente per i nodi sensore, la modalità di free-running.
- I campioni acquisiti prima del comando di trigger non vengono eliminati ma vengono salvati in una porzione del data set, detta di pre-trigger.
- Quando viene ricevuto un comando di trigger, il sensore inizia a salvare i campioni acquisiti nella rimanente porzione del data set, fino al suo completamento.
  - Il numero di campioni pre-trigger, ovvero salvati prima del comando di trigger, è specificato dalla variabile *pre-trigger count* del TEDS.
  - Il numero di campioni post-trigger, salvati dopo il comando di trigger, è pari alla differenza tra la dimensione del data set ed il valore della variabile *pre-trigger count*.

08/01/2009

G. Giorgi - Standard IEEE1451

28

## Free-running con pre-trigger - 2



- La memoria dati di pre-trigger viene gestita come un buffer circolare: una volta che il buffer è pieno, il campione più vecchio viene sovrascritto con il nuovo valore acquisito.



08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

29

## Campionamento continuo

- È realizzabile solo in nodi dotati di buffer di memoria multipli nei quali memorizzare i campioni.
- È una variante della modalità di campionamento base di free-running.
- A differenza di questa però, l'elaborazione dei dati non termina quando un data set è stato processato, ma continua considerando i successivi data set disponibili.
  - Per un **nodo sensore**, terminati tutti i data set disponibili, viene sovrascritto il data set meno recente.
  - Per un **nodo attuatore**, terminato il data set corrente verrà processato il data set meno recente. Se nessun nuovo data set è disponibile, si passerà ad una delle modalità hold oppure recirculate.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

30

## Campionamento immediato

- Per un **nodo sensore**:
  - L'evento di trigger corrisponde alla richiesta di lettura di un data set.
  - Il sensore acquisisce quindi un data set e lo trasmette al nodo richiedente in risposta al comando di lettura ricevuto.
- Per un **nodo attuatore**:
  - L'evento di trigger corrisponde alla richiesta di scrittura di un data set.
  - Il data set, ricevuto assieme al comando di scrittura, viene quindi processato dal nodo attuatore.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

31

## Modalità di trasmissione

- Lo standard 1451.0 definisce due differenti modalità di trasmissione dei data set:
  - On command**: un data set viene trasmesso dal canale di trasduzione solo in risposta ad un comando di lettura;
  - Streaming**: la trasmissione dei dati viene gestita autonomamente dallo stesso canale di trasduzione. Si differenzia in:
    - Buffer full**: il canale di trasduzione attende di disporre di un data set completo prima di inviarlo;
    - Fixed interval**: il canale di trasduzione trasmette ad intervalli di tempo regolari. Non è necessario che il data set sia in questo caso completo. Se invece il numero di campioni acquisiti supera il limite massimo viene segnalato il verificarsi di un errore.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

32



## TEDS

- I **TEDS** – Transducer Electronic Data Sheets – contengono tutte le informazioni riguardanti il funzionamento di ogni TIM e di ciascun canale di trasduzione.
- Vengono salvati nella memoria non-volatile di un TIM. Se questo non fosse possibile o risultasse poco pratico, è prevista la possibilità di definire **TEDS virtuali**, memorizzati altrove (es. nell'NCAP). E' responsabilità poi dell'utilizzatore associare un dato TEDS virtuale al relativo TIM/canale di trasduzione.
- Un TEDS si suddivide in sottogruppi, alcuni dei quali sono obbligatori mentre altri sono opzionali.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

33

## Struttura di un TEDS

Table 39—Generic format for any TEDS

Field	Description	Type	# octets
—	TEDS length	UInt32	4
1 to N	Data block	Variable	Variable
—	Checksum	UInt16	2

Estratto dallo standard IEEE 1451.0

- Il primo campo specifica la lunghezza del relativo TEDS. Ha dimensione fissa e viene rappresentato con un intero senza segno a 32 bit.
- Il secondo campo, data block, contiene tutte le informazioni del TEDS. Ha dimensione variabile ed è composto da un certo numero di campi. Ogni campo, **field**, viene specificato fornendo tre parametri: tipo, lunghezza e valore:
  - **Type**: è il codice usato per identificare il field all'interno del TEDS. Lo stesso codice assume significati diversi a seconda del tipo di TEDS.
  - **Length**: specifica la lunghezza del successivo campo Value.
  - **Value**: rappresenta il dato vero e proprio.
- L'ultimo campo, **checksum**, ha dimensione fissa e viene usato per verificare l'integrità del TEDS.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

34

## TEDS obbligatori

- Meta TEDS
- TransducerChannel TEDS
- User's Transducer Name TEDS
- PHY TEDS

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

35

## Meta TEDS

- Fornisce le informazioni necessarie per accedere ad ogni canale di trasduzione .
- Specifica le informazioni comuni a tutti i canali di trasduzione.
- Definisce le relazioni che intercorrono tra i canali di trasduzione di uno stesso TIM. Ad esempio definisce gruppi di controllo e/o gruppi vettoriali di canali di trasduzione.

Table 43—Structure of the Meta-TEDS data block

Field type	Field name	Description	Data type	# octets
—	Length		UInt32	4
0-2	—	Reserved	—	—
3	TEDSID	TEDS Identification Header	UInt8	4
4	UUID	Globally Unique Identifier	UUID	16
5-9	—	Reserved	—	—
Timing related information				
10	ObsLOH	Operational time-out	Float32	4
11	StnLOH	Stim-access time-out	Float32	4
12	TestTime	Self-Test Time	Float32	4
Number of implemented Transducer Channels				
13	MaxChan	Number of implemented Transducer Channels	UInt16	2
14	CGroup	Control Group Information (see Table 44)	—	—

Type 20, and 21 define one ControlGroup.

Estratto dallo standard IEEE 1451.0

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

36

## TransducerChannel TEDS

- Contiene le informazioni relative ad uno specifico canale di trasduzione:
  - parametri fisici misurati o controllati,
  - range di valori entro i quali il trasduttore è in grado di operare,
  - caratteristiche dell'interfaccia di I/O digitale,
  - modi di funzionamento
  - temporizzazioni relative allo specifico canale di trasduzione

Table 48—Structure of the TransducerChannel TEDS data block

Field	Field name	Description	Type	# octets
---	---	TEDS length	UInt32	4
0-2	---	Reserved	---	---
3	TEDSID	TEDS Identification	UInt8	4
4-9	---	Reserved	---	---
TransducerChannel related information				
10	CalKey	Calibration key	UInt8	1
11	ChanType	TransducerChannel type key	UInt8	1
12	PhysUnits	Physical Units	UNITS	11

Estratto dallo standard IEEE 1451.0

Table 50—Enumeration of TransducerChannel types

Value	Meaning
0	Sensor
1	Actuator
2	Event sensor
3-255	Reserved for future expansion

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

37

## User's Transducer Name TEDS

- Permette all'utente di assegnare un certo nome ad un dato canale di trasduzione. Questo nome verrà poi usato dal sistema per identificare quel dato canale di trasduzione.

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

38

## PHY TEDS

- Specifica il mezzo fisico di comunicazione utilizzato per connettere un TIM all'NCAP.
- La descrizione di questo TEDS viene fornita dai vari standard della famiglia 1451, in base all'interfaccia fisica utilizzata.
  - Ad esempio lo standard IEEE 1451.5 definisce il PHY TEDS per interfacce wireless.

Table 2—PHY TEDS data block

Field type	Field name	Description	Type	# octets	Contents
---	---	TEDS length	UInt32	4	
3	TEDSID	TEDS Identification	UInt8	4	
4-9	---	Reserved	---	---	
10	Radio	Radio Type	UInt8	1	See Table 4
11	MaxBPS	Max data throughput	UInt32	4	Bits per second
12	MaxCDev	Max Connected Devices	UInt16	2	Maximum number of devices that may be simultaneously operational with this device
13	MaxRDev	Max Registered Devices	UInt16	2	Maximum number of devices that may be simultaneously registered with this device
14	Energy	Energytype	UInt16	2	Energytype type and key length
15	Authen	Authentication	Boolean	1	TRUE = Authentication supported FALSE = not supported

Estratto dallo standard IEEE 1451.5

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

39

## TEDS opzionali

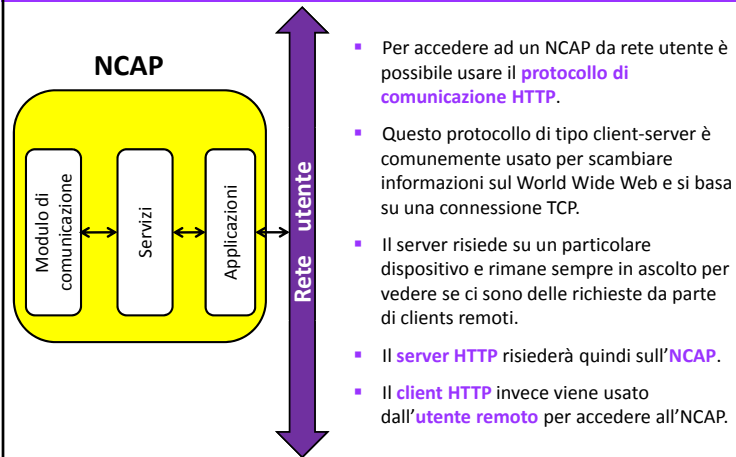
- Calibration TEDS:** contiene le costanti di calibrazione necessarie per convertire l'uscita di un sensore in un'unità di misura ingegneristica o viceversa.
- Frequency response TEDS:** descrive la risposta in frequenza di un dato canale di trasduzione.
- Transfer function TEDS:** descrive la funzione di trasferimento di un dato canale di trasduzione.
- Text-based TEDS:** specifica varie informazioni testuali relative ad un TIM o ad un canale di trasduzione.
- End User Application Specific TEDS:** memoria riservata all'utente per memorizzare informazioni in qualsiasi formato.
- ....

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

40

## Accesso ad un NCAP da rete utente



08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

41

## Messaggi da utente remoto a NCAP

Estratto dallo standard IEEE 1451.0

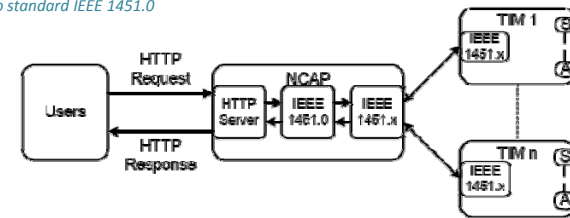


Figure 23—HTTP access to an IEEE 1451.0 NCAP

- Il **significato dei messaggi** inviati da utente remoto ad un NCAP viene specificato dallo standard IEEE 1451.0.
- Il **formato dei messaggi** inviati invece è conforme alle specifiche descritte nel documento RFC 2616:

**http://<host>:<port>/<path>?<parameters>**

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

42

## Esempio

**http://<host>:<port>/<path>?<parameters>**

- <host>** = "192.168.1.91"  
*specifica il dominio*
- <port>** = "80"  
*specifica il numero di porta*
- <path>** = "1451/TransducerAccess/ReadData"  
*specifica il comando stesso da inviare all'NCAP*
- <parameters>** = "timId=1&channelId=2&timeout=14&samplingMode=continuous&format=text"  
*fornisce il valore dei parametri associati al comando stesso*

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

43

## Messaggi da NCAP verso un utente remoto

- Il formato dei dati inviati dall'NCAP verso un utente remoto, in risposta ad un comando ricevuto, viene specificato dall'argomento **format** del messaggio di comando HTTP.
- Può essere di tre diversi tipi:
  - Formato XML:** la risposta viene fornita secondo uno schema XML associato al comando. Vedere standard per ulteriori informazioni.
  - Formato HTML:** in questo caso il messaggio di risposta corrisponderà ad una pagina web. La formattazione ed il layout di tale pagina non sono specificati dallo standard.
  - Formato testuale:** in questo caso i valori forniti seguono l'ordine ed il tipo specificato dallo standard e sono terminati dalla coppia di caratteri ASCII carriage return (CR = ASCII 13) e line feed (LF = ASCII 10).

08/01/2009

G. Giorgi – Standard IEEE1451

44

